

# **Automação aplicada a uma linha de processamento de marisco de pequena-média dimensão**

*Pedro Manuel Loureiro Almeida*

**Dissertação do Mestrado Integrado Engenharia Mecânica – Automação**

Orientadores:

Prof. Manuel Romano dos Santos Pinto Barbosa

Prof. António Manuel Ferreira Mendes Lopes



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**  
**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Outubro 2014



## RESUMO

Nesta dissertação desenvolve-se uma proposta de automação para um caso em particular do processamento de marisco numa empresa de pequena média-dimensão.

Este trabalho surgiu da necessidade sentida pela empresa de melhorar a eficiência dos seus processos e a sua capacidade de resposta a um mercado cada vez mais competitivo e crescente na transformação de pescado.

O trabalho apresentado consiste na caracterização e elaboração de uma proposta para uma solução de automação da linha de processamento de camarão, idealizando-se um pequeno protótipo que serve para demonstrar as potencialidades de um controlador lógico programável (PLC) quando inserido neste tipo de aplicações e evidenciar que todas as funcionalidades pretendidas pela empresa para o funcionamento do sistema são exequíveis.

Para além de serem robustos, a utilização de controladores lógicos programáveis modulares revela-se interessante, principalmente na aquisição de sinais analógicos, no controlo lógico de um sistema e por serem instrumentos bastante compactos. O *software* usado na interface gráfica, o *Labview*, desenvolvida na solução protótipo, veio abrir portas a possíveis alternativas ao invés da utilização da HMI para a interface do sistema com o utilizador.



## **ABSTRACT**

In this thesis a proposal for automation of a specific case of seafood processing in a small to medium-sized company is presented.

This work was motivated by the need of the company to improve the efficiency of its processes and its ability to respond to an increasingly competitive and growing market in fish processing.

The work presented consists in the characterization and development of a proposal for an automation solution for a shrimp processing line. A prototype system was implemented to demonstrate the potential of a programmable logic controller (PLC) when used in this type of applications, showing that all the functionality required by the company for the operating system is feasible.

In addition to being robust, the use of modular programmable logic controllers proves interesting, especially in the acquisition of analog signals, being a very compact solution. The software used to develop the graphical interface, Labview, of the prototype solution, has opened doors to new alternatives for the conventional Human-Machine-Interface to interface the system with the user.



## **AGRADECIMENTOS**

A concretização deste trabalho só foi possível graças a todas as pessoas que me apoiaram de forma incondicional em todos os momentos. Este agradecimento é uma forma especial de expressar todo o meu apreço e gratidão por essas pessoas.

Ao Professor Doutor Manuel Romano dos Santos Pinto Barbosa e ao Professor Doutor António Manuel Ferreira Mendes Lopes, agradeço de forma especial pela orientação científica, pela paciência demonstrada, pelos ensinamentos e motivação e pelas críticas que fizeram ao longo do desenvolvimento deste trabalho que foram muito úteis para mim e para a conclusão de cada etapa.

Ao Professor Doutor Joaquim Gabriel Mendes, agradeço todos os recursos disponibilizados, só assim foi possível cumprir as metas delineadas para o trabalho.

Ao Doutor John Domingos, agradeço toda a disponibilidade demonstrada sempre que foi solicitado para prestar informações úteis para o desenvolvimento deste trabalho.

E como nunca andamos sozinhos nestes momentos, agradeço a todos os meus amigos que me acompanharam nesta jornada e por todo o apoio que me deram.

Quero agradecer de forma muito especial ao meu pai e à minha avó que infelizmente já não podem testemunhar a conclusão desta importante fase da minha vida, mas que sem eles eu não seria a pessoa e o homem que sou hoje, para eles o meu eterno agradecimento.

À minha mãe por toda a dedicação e por todos os esforços que fez e continua a fazer, sem ela não seria possível a conclusão desta fase importante da minha vida.

À minha irmã pela pessoa que tem sido e pela força que me tem dado ao longo desta jornada.

À minha incrível namorada, pela dedicação, pelos conselhos, pela presença nos bons e maus momentos, pela paciência, pelo otimismo que descarregava para mim e sobretudo pelo carinho e afeto que tem demonstrado ao longo destes cinco maravilhosos anos.

A todos o meu bem hajam.





## ÍNDICE GERAL

Resumo .....	I
Abstract.....	III
Índice figuras .....	VIII
Índice tabelas .....	X
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do tema .....	1
1.2. Objetivos da dissertação .....	5
1.3. Organização da dissertação.....	5
2. Linha de produção atual .....	7
2.1. Descrição da empresa .....	7
2.2. Características da linha de produção atual .....	9
2.3. Síntese dos requisitos de produção da empresa .....	11
3. Processamento de marisco .....	13
3.1. Soluções para o processamento de marisco.....	13
3.2. Processamento de camarão – imersão e chuveiro.....	20
3.3. Proposta de automação para a linha de processamento de camarão.....	22
3.4. Descrição e caracterização das variáveis a medir.....	26
4. Tecnologia de monitorização e controlo .....	29
4.1. Sensores de temperatura .....	29
4.2. Sensor de salinidade e pH.....	32
4.2.1. Medição de pH .....	32
4.2.2. Medição de salinidade .....	35
4.3. Detetores de nível .....	37
4.4. Sinalizadores Luminosos .....	37
4.5. Bombas e eletroválvulas .....	39
4.6. Controlador lógico programável e HMI .....	41
5. Solução tecnológica adotada .....	49
5.1 Caracterização do funcionamento do sistema.....	49
5.2. Modos de funcionamento - estrutura do programa principal.....	50
5.3. Desenvolvimento do software de monitorização e controlo.....	55
5.4. Implementação e teste de uma solução protótipo .....	67
5.5. Proposta final .....	77
6. Conclusões finais e trabalhos futuros.....	81
6.1. Conclusões finais .....	81

6.2. Trabalhos futuros.....	82
Bibliografia.....	83

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 – Zona económica de Portugal representada com a cor amarela (Sousa, 2011) .....	1
Figura 2 – Preço médio anual da pesca descarregada em Portugal por espécie .....	2
Figura 3 – Esquema piso 0 com as respetivas salas e fluxo de materiais. ....	8
Figura 4 – Subprocessos para o processamento de camarão pré-cozido .....	9
Figura 5 – Transferência matéria-prima.....	10
Figura 6 – Arrastão congelador pela popa (Novo, 2013).....	13
Figura 7 – Esquema das etapas para produtos congelados em alto mar, adaptado de (Craveiro, 2009) .....	14
Figura 8 – Operador em serviço em equipamento para processar sapateira .....	15
Figura 9 – Armário descongelador por projeção de chuveiro (Palinox, 2010).....	15
Figura 10 – Descongelador por imersão a) (Palinox, 2010); Descongelador por irrigação b) (Systems, Sem data).....	16
Figura 11 – Descongelador por aspiração (Palinox, 2010).....	16
Figura 12 – Cozedor termicamente isolado (Palinox, 2010) .....	17
Figura 13 – Cozedor contínuo por imersão (Palinox, 2010).....	17
Figura 14 – Arrefecedor por salmoura sistema cinta a); sistema ‘palas’ b) (Palinox, 2010)...	18
Figura 15 – Linha de produção no processamento de sapateira .....	19
Figura 16 – Linha de produção para o processamento de camarão (Meyer, 2013) .....	19
Figura 17 – Condutividade térmica para várias espécies de pescado, adotada de Sudhaharini Radhakrishnan.....	21
Figura 18 – Esquema linha de camarão .....	22
Figura 19 – Esquema Subprocesso 1 – Descongelação .....	23
Figura 20 – Esquema subprocesso 2 – Cozedura.....	24
Figura 21 – Esquema Subprocesso 3 – 2º arrefecimento .....	25
Figura 22 – Esquema Subprocesso 4 – 2º arrefecimento .....	26
Figura 23 – Sensor de Temperatura com bainha industrial, adaptada de Nawrocki (Nawrocki, 2005) .....	30
Figura 24 – Sensor Pt100 a); Transmissor analógico para Pt100 b) (JUMO, 2010) .....	31
Figura 25 – Gráfico da variação da resistência do sensor de platina Pt100.....	32
Figura 26 – Sensor pH-D-S sc para medir pH (Lange, 2012).....	33
Figura 27 – Controlador SC200, retirado do datasheet SC 200 Digital 2 Channel Controller (Lange, 2010) .....	34
Figura 28 – Sensor de condutividade 3798-S sc para medir a salinidade, retirado do datasheet 3798-S sc: digital inductive conductivity sensor (Lange, 2004).....	35
Figura 29 – Esquema sensor condutividade, adotada de 3798-S sc Digital inductive conductivity sensor (Lange, 2013).....	36
Figura 30 – Torre luminosa, imagem retirada do datasheet Werma .....	38
Figura 31 – Curvas de performance bombas CM 50Hz (Grundfos, 2010).....	41
Figura 32 – HMI NB7W TW01B (Omron, 2014) .....	42
Figura 33 – Modelo da CPU 32 .....	43
Figura 34 – Fonte de alimentação .....	44

Figura 35 – Módulo de saídas digitais .....	45
Figura 36 – Módulo de entradas digitais .....	46
Figura 37 – Módulo de entradas analógicas com 4 entradas .....	46
Figura 38 – PLC modular montado com os respetivos módulos.....	47
Figura 39 – Estrutura do sistema de automação .....	49
Figura 40 – Diagrama de Gantt .....	50
Figura 41 – Estrutura do programa principal .....	51
Figura 42 – Estrutura modo manual .....	52
Figura 43 – Estrutura do modo de visualização e do modo de teste .....	52
Figura 44 - Estrutura do modo de setup (Figura 42) .....	53
Figura 45 – Estrutura detalhada modo ciclo automático (Figura 41) .....	54
Figura 46 – Grafect a) e diagrama de estados b) .....	55
Figura 47 – Escolha do ciclo automático.....	56
Figura 48 – Código seleção do modo automático .....	56
Figura 49 – Diagrama de estados e código do Subprocesso 1 – Descongelação .....	57
Figura 50 – Diagrama de estados do subprocesso 2 – Cozedura.....	58
Figura 51 – Código para o subprocesso de cozedura em modo automático.....	58
Figura 52 – Diagrama de estados 1º arrefecimento em modo automático .....	59
Figura 53 – Código para o 1ºarrefecimento em modo automático .....	60
Figura 54 – Diagrama de estados 2º arrefecimento modo automático .....	60
Figura 55 – Escolha modo manual .....	61
Figura 56 – Código para a escolha do modo setup.....	61
Figura 57 – Diagrama de estados descongelação em modo setup.....	62
Figura 58 – Código para a descongelação em modo setup.....	62
Figura 59 – Diagrama de estados para a Cozedura no modo setup.....	63
Figura 60 – Código para a Cozedura em modo setup .....	63
Figura 61 – Diagrama de estados do 1º arrefecimento em modo setup .....	64
Figura 62 – Código 1º arrefecimento em modo setup .....	64
Figura 63 – Código para a escolha do modo de teste .....	65
Figura 64 – Código para o modo de teste.....	65
Figura 65 – Código para adquirir o sinal dos sensores de temperatura, pH e condutividade ..	66
Figura 66 – Comparação do sinal do sensor com os valores dos limites admissíveis que foram definidos .....	66
Figura 67 – Ambiente de programação do Labview 2013 .....	67
Figura 68 – Interface do painel Inicial.....	68
Figura 69 – Interface do menu principal .....	68
Figura 70 – Interface para a inserção de novos produtos .....	69
Figura 71 – Interface do painel do menu do modo manual .....	69
Figura 72 – Interface da janela pop-up do help do menu do modo manual .....	70
Figura 73 – Interface do modo de visualização e teste.....	70
Figura 74 – Interface do setup/limpeza de equipamentos .....	71
Figura 75 – Programa para o enchimento e esvaziamento virtual dos tanques.....	71
Figura 76 – Interface do ciclo automático .....	72
Figura 77 – Determinação do número de ciclos e tempo estimado.....	72
Figura 78 – Código cálculo do número de ciclos e do tempo estimado.....	73
Figura 79 – Programa para o ajuste de tempo .....	73
Figura 80 – Esquema do circuito de montagem do potenciómetro .....	74
Figura 81 – Montagem do potenciómetro e ligações .....	74

Figura 82 – Esquema de ligação de dispositivos analógicos ao módulo .....	75
Figura 83 – Configuração do módulo para receber sinal em tensão ou corrente.....	75
Figura 84 – Função scaling em aproximação por função linear .....	76
Figura 85 – Cabo de comunicação Ethernet .....	76
Figura 86 – Cabo RS232-9 pinos.....	78

## ÍNDICE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades químicas e térmicas do camarão, adaptada de (ASHRAE, 2006) ....	21
Tabela 2 – Características das variáveis a medir .....	27
Tabela 3 – Materiais e gamas de temperaturas, adaptada de Wilson (Wilson, 2004) .....	29
Tabela 4 – Dados técnicos do sensor Pt100 e do transmissor (JUMO, 2010) .....	30
Tabela 5 – Valores característicos da resistência de um Pt100, adaptada de Nawrocki (Nawrocki, 2005) .....	31
Tabela 6 – Dados técnicos do sensor pH-D-S sc (Lange, 2012).....	33
Tabela 7 – Dados técnicos do controlador SC 200 (Lange, 2010) .....	34
Tabela 8 – Dados técnicos do sensor 3798S (Lange, 2004) .....	36
Tabela 9 – Dados técnicos do interruptor de nível da série LFV300 (SICK, 2010).....	37
Tabela 10 – Dados técnicos da torre luminosa, datasheet Werma e catálogo RS (Werma, Sem data).....	38
Tabela 11 – Dados técnicos das electroválvulas, catálogo Fluid Control Express (Parker, 2012) .....	39
Tabela 12 – Dados técnicos da HMI (Omron, 2014).....	42
Tabela 13 – Dados técnicos da CPU 32 do PLC modular (Omron, 2014) .....	44
Tabela 14 – Dados técnicos da fonte de alimentação CJ1W-PA202 (Omron, 2014).....	44
Tabela 15 – Dados técnicos do módulo de saídas digitais (Omron, 2014).....	45
Tabela 16 – Dados técnicos do módulo de entradas digitais (Omron, 2014) .....	46
Tabela 17 – Dados técnicos do módulo de 8 entradas analógicas (Omron, 2014) .....	47
Tabela 18 – Proposta final dos equipamentos necessários .....	78





# 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo de introdução faz-se inicialmente o enquadramento do tema tendo em conta o tipo de indústria e o contexto particular da empresa que serviu de base ao trabalho desenvolvido. Apresentam-se ainda os objetivos do trabalho e a estrutura da dissertação com referência aos capítulos seguintes.

## 1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

Portugal é tradicionalmente um país dedicado ao setor piscatório e devido à sua localização geográfica apresenta uma das maiores zonas económicas marítimas para a prática da pesca a nível Europeu como se pode observar pela Figura 1. Neste contexto é natural que o interesse e importância da indústria associada à pesca, desde a captura até ao seu processamento e consumo, resultem na sua classificação recorrente como setor estratégico a nível nacional. O trabalho desenvolvido nesta dissertação centra-se na indústria de preparação e processamento de pescado, mais em particular de crustáceos (i.e. camarão) numa perspetiva de automação de uma linha de produção existente.

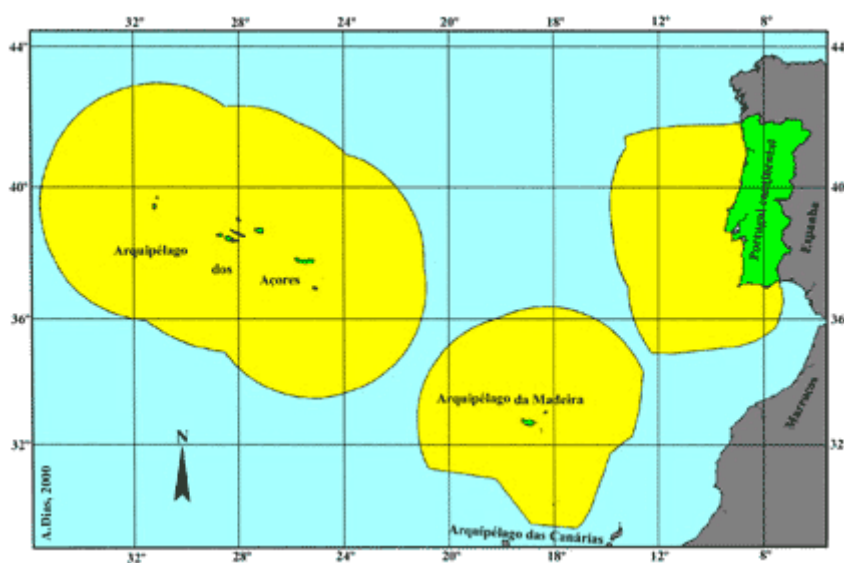


Figura 1 – Zona económica de Portugal representada com a cor amarela (Sousa, 2011)

Este setor de atividade está abrangido por várias legislações da União Europeia e Portuguesas, desde a captura do pescado até à sua comercialização. A legislação Portuguesa atual impõe regras que restringem o tamanho mínimo de captura do pescado (Portaria n.º 27/2001, de 15 de Janeiro. D.R. n.º 12, Série I-B), a obrigatoriedade da primeira venda ser feita em lotas (Decreto de Lei n.º 81/2005, de 20 de Abril), impõe uma regulamentação de inspeções hígio-sanitárias do pescado (Portaria n.º 559/76, de 7 de Setembro), dita condições de comercialização de pescado congelado, ultracongelado e descongelado (Decreto de Lei n.º 37/2004, de 26 de Fevereiro), entre outras. Como se verifica, desde a captura até à sua comercialização, todo o

pescado que entra em Portugal passa por vários sistemas de avaliação e validação das suas propriedades físicas e químicas, reforçando assim a garantia de não haver risco para o consumidor final.

Para se perceber qual o valor que este setor pode oferecer à economia nacional, apresenta-se de seguida o gráfico da Figura 2 com informação retirada de Estatísticas da Pesca 2013 (INE, 2014), onde se pode observar a valorização que tiveram algumas espécies de pescado em Portugal. Neste pode observar-se que das espécies apresentadas o camarão é das que maior valor comercial apresenta (21,3 €/kg), logo a seguir à das lagostas e lavagantes, no ano de 2013, tornando-se assim num dos pescados mais valorizados no mercado nacional. Acima destas aparece apenas a enguia, que não vem mencionada na Figura 2, com um valor médio na ordem dos 97 €/kg em 2013.

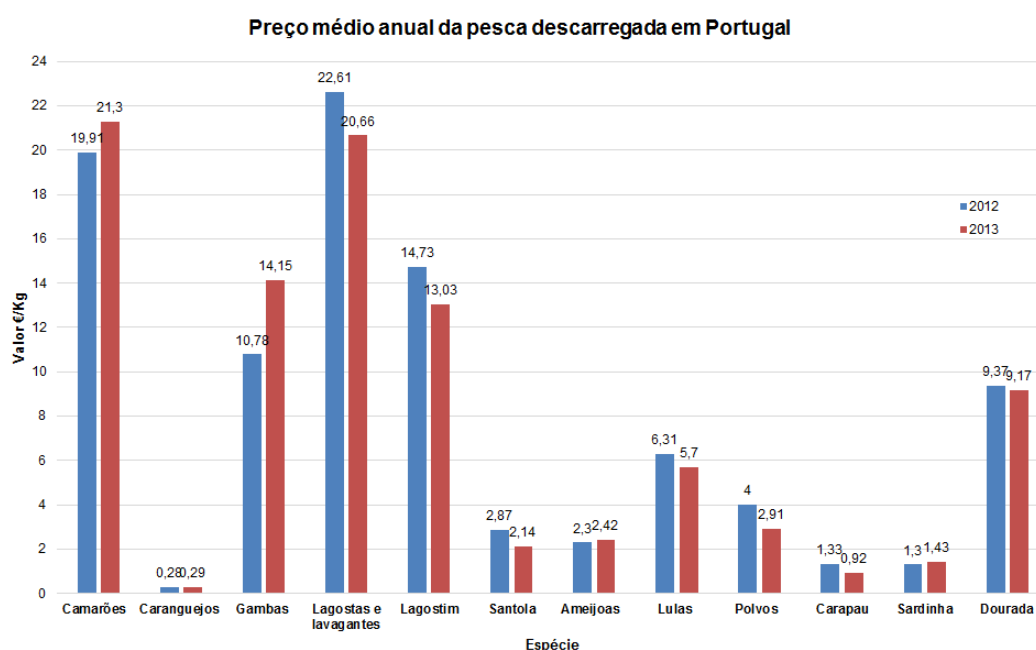


Figura 2 – Preço médio anual da pesca descarregada em Portugal por espécie

Esta valorização verifica-se também quando integrada na respetiva família, os crustáceos, e comparada de forma mais global com as outras espécies (Quadro 1), estando portanto num lugar de eleição para quem se dedica à transformação ou processamento de pescado.

Quadro 1 – Valor médio da pesca descarregada no ano de 2013 (INE, 2014)

Porto de descarga	Valor médio da pesca descarregada (€/ kg) por Porto de descarga e Espécie; Anual (1)				
	Período de referência dos dados				
	2013				
	Espécie				
	Águas salobra e doce	Peixes	Crustaceos	Moluscos	Animais aquáticos
	€/ kg	€/ kg	€/ kg	€/ kg	€/ kg
Portugal	10,50	1,46	11,62	2,86	1,01
Continente	10,50	1,30	11,61	2,79	1,01
Região Autónoma dos Açores	-	2,34	12,60	4,82	-
Região Autónoma da Madeira	-	2,60	7,82	3,35	-



O processamento de marisco em geral insere-se na indústria agroalimentar e pode envolver várias fases desde a produção de matéria-prima em viveiro, ou captura em ambiente natural, até à sua distribuição, transformação e disponibilização para consumo. No caso particular em estudo o processamento limita-se à utilização de matéria-prima congelada e ao seu processamento de modo a disponibilizar um produto cozido pronto para distribuição e posterior consumo.

Assim existem muitas empresas que se dedicam ao processamento de marisco, que no decorrer dos anos foram melhorando os seus métodos e técnicas de produção para este tipo de produtos. Como qualquer processo, em particular da indústria alimentar, deve seguir com rigor determinadas normas de qualidade e segurança. Todas as empresas deste setor que se dediquem a qualquer fase da produção, transformação, armazenagem e/ou distribuição de géneros alimentícios é-lhes aconselhado a implementação de um sistema de Análise dos Perigos e Controlo dos Pontos Críticos (*HACCP-Hazard Analysis Critical Control Points*) (Mortimore et al, 2008) como garantia da segurança dos géneros alimentares produzidos, manipulados, servidos e/ou distribuídos. Os princípios implícitos neste sistema (HACCP) juntamente com a comunicação interativa, a gestão do sistema, a implementação de medidas básicas de higiene (i.e. pré-requisitos), são requisitos definidos pela Norma ISO 22000, norma associada aos sistemas de gestão da segurança alimentar (Alok et al, 2014).

Um sistema do tipo HACCP permite abordar sistematicamente a gestão da segurança alimentar, identificando perigos (físicos, químicos ou biológicos) associados aos alimentos que possam ocorrer ao nível dos processos na sua produção ou distribuição, apoiando-se em sete princípios fundamentais (Mortimore et al, 2008):

- Princípio 1: Identificar perigos e medidas preventivas;
- Princípio 2: Identificar os pontos críticos de controlo (PCC);
- Princípio 3: Estabelecer limites críticos para cada PCC;
- Princípio 4: Estabelecer um sistema para monitorar o controlo de PCC;
- Princípio 5: Estabelecer um plano de ações corretivas;
- Princípio 6: Estabelecer procedimentos de verificação;
- Princípio 7: Estabelecer documentação relativa a todos os procedimentos e registos apropriados a esses princípios e sua aplicação.

Da análise dos princípios atrás mencionados torna-se claro que para além das vantagens de eficiência e produtividade dos processos, a aplicação das tecnologias de automação industrial garante, meios expeditos para assegurar uma implementação dos procedimentos regulamentares de uma forma mais eficiente. Nomeadamente ao nível do registo automático de variáveis e dos seus valores limites associadas a pontos críticos do processo, da geração automática de ações de correção nos processos através de atuadores, bem como no tratamento, análise e armazenamento de informação que sirva de base ao registo, acompanhamento e melhor conhecimento dos processos.

As condições de processamento de bens alimentares, em particular quando envolvem processos de conservação e transformação a temperaturas bem definidas, como por exemplo congelação e descongelação, têm que ser controladas com rigor pois podem colocar em causa a saúde do consumidor e também porque são essenciais para evitar a deterioração dos produtos e consequentes perdas de rendimento.

A Nortesea Lda surge assim na indústria como uma empresa ligada ao setor alimentar que processa algumas espécies de crustáceos e alguns moluscos. Devido ao seu enquadramento no referido setor esta cumpre regras muito específicas, tendo em consideração todas as normas referenciadas, nomeadamente as exigidas pela ASAE (Autoridade da Segurança Alimentar e Económica), como por exemplo (Nunes et al, 2009):

- Estar bem localizada, afastando qualquer foco de contaminação;
- Respeitar as normas de processamento “marcha em frente”;
- Ter um número de divisões suficientes para não haver o risco de contaminações cruzadas;
- Ter infraestruturas de apoio para escoar os resíduos produzidos;
- Os materiais de construção têm de ter propriedades específicas, para ser fácil a sua limpeza e higienização;
- Os equipamentos devem também ser de fácil limpeza, adequados à função e nunca devem representar um fator de risco para o produto.

Apesar de se considerar uma empresa de pequena dimensão, o domínio que possui dos processos traduziu-se num reconhecimento da qualidade dos seus produtos pelos clientes e consequentes oportunidades de crescimento.

Neste contexto, inaugurou recentemente novas instalações e numa fase de aposta no crescimento tem por objetivo complementar o domínio dos processos de transformação de marisco, controlados atualmente de forma manual, com soluções automatizadas. Esta aposta pretende ser desenvolvida de forma gradual e sustentada levando a uma abordagem por fases e considerando inicialmente alguns processos específicos como alvo dessa automatização. Para além das vantagens mais diretas da utilização de soluções automatizadas a incorporação de um sistema de automação é considerado como uma mais-valia na imagem da empresa, nomeadamente no que diz respeito à qualidade dos seus produtos e à possibilidade de concorrer em mercados mais exigentes.

Este trabalho resultou assim do interesse e necessidades de melhorias identificadas pela empresa relativamente aos seus processos e do reconhecimento da existência de soluções de automação que podem ser configuradas para dar resposta a essas solicitações. O desenvolvimento de uma proposta de automação envolve um estudo e caracterização dos processos escolhidos, a identificação de possíveis alternativas, a escolha, a validação de uma solução particular e a elaboração de uma proposta final.

## **1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO**

Os objetivos da dissertação foram estabelecidos com vista a encontrar soluções que permitam melhorar a eficiência no processamento de marisco pela Nortesea, em particular no controlo e monitorização de temperatura ao longo das várias fases de processamento bem como a possibilidade de adaptar o processo atualmente usado, baseado em imersão num líquido, para um processo alternativo de projeção em chuveiro.

O objetivo global passará por estudar e testar soluções de supervisão e monitorização das variáveis do processo de transformação de camarão congelado em camarão cozido para distribuição e consumo. Em particular deve contemplar:

- Identificação das variáveis a monitorizar e escolha dos respetivos sensores;
- Escolha dos equipamentos de controlo e monitorização;
- Escolha dos elementos de interface com o utilizador;
- Implementação e teste de uma solução protótipo, incluindo o desenvolvimento dos programas para os elementos programáveis;
- Elaboração da proposta final.

A solução da proposta deve ainda ter em consideração os objetivos de implementação gradual de automatização.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação, para além deste capítulo de introdução, organiza-se nos capítulos sintetizados de seguida. No capítulo 2 faz-se uma descrição da empresa Nortesea Lda., incluindo as suas instalações e as fases principais do processamento de camarão na situação atual: descongelação, cozedura, arrefecimentos. Tem por objetivo clarificar a situação atual do processamento com base num sistema manual, bem como os requisitos de produção da empresa.

O capítulo 3 apresenta as alternativas para o processamento de camarão incluindo uma análise das soluções mais comuns comercialmente disponíveis para o processamento de camarão. Tendo em conta as várias fases do processamento de camarão, com base na solução estabelecida de acordo com as solicitações da empresa, é feita uma análise detalhada de cada fase de forma a identificar as variáveis do processo, os requisitos das medições a efetuar e os restantes elementos da solução de automação a considerar para implementação e teste.

No capítulo 4 são apresentadas soluções comercialmente disponíveis para os sensores, elementos de deteção e atuadores capazes de satisfazer os requisitos da solução de automação estabelecida no capítulo anterior (cap. 3). Apresentam-se também os elementos de controlo e de interface com o utilizador. Com base na definição destes elementos o capítulo 5 apresenta os métodos e procedimentos que levaram ao desenvolvimento e teste dos respetivos programas e apresenta o desenvolvimento de uma solução protótipo. Termina com a elaboração e justificação da proposta final de automação do processamento de camarão na empresa Nortesea Lda.

O capítulo 6 apresenta as conclusões finais da realização do trabalho e proposta de trabalhos futuros.



## 2. LINHA DE PRODUÇÃO ATUAL

Neste capítulo descreve-se resumidamente o espaço dedicado para a produção, incidindo posteriormente na sala de processamento na qual se encontra a linha de produção atual fazendo a respetiva caracterização. Ainda nesta secção faz-se a síntese dos objetivos da empresa em função de possíveis e novas alterações a efetuar no sistema de produção, colmatando com a interpretação que foi feita em termos técnicos propondo no final uma solução para o problema.

### 2.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A atividade principal da empresa consiste no comércio a retalho de peixe, crustáceos e moluscos. As suas instalações de produção permitem a preparação de produtos da pesca, transformação de crustáceos, fabrico de pratos pré-cozinhados de pescado e marisco, depósito, acondicionamento e embalagem de produtos da pesca vivos, bem como congelação e armazenagem de produtos da pesca.

As instalações de produção atuais situam-se em Guifões-Matosinhos tendo sido remodeladas recentemente subdividindo-se em dois pisos, rés-do-chão e primeiro piso. O piso inferior está destinado à produção e dividido em dez compartimentos ou salas. A descrição das salas é feita de forma sequencial, visando representar o percurso que a matéria-prima efetua ao longo do seu processamento, ou seja desde que entra vinda de fornecedores até que sai para o sistema de distribuição.

Assim o piso zero é constituído por:

- Um cais de entrada que é usado apenas para a descarga de produtos/matérias-primas, não podendo ser usado para mais nenhuma outra utilização de acordo com os princípios do sistema HACCP;
- Uma sala de receção e/limpeza que é a primeira sala por onde passa a matéria-prima. É nesta sala que se faz uma primeira inspeção ao estado de qualidade do produto;
- Arcas de congelação para onde segue a matéria-prima vinda da sala de receção. Estas têm a função de manterem a matéria-prima a uma temperatura adequada para que não sofra alterações no seu estado e mantenham a sua qualidade até ao momento de serem transportadas para a sala seguinte;
- Sala de produção, onde se irá processar toda a matéria-prima. É nesta sala que se encontram todos os equipamentos necessários para o processamento: descongelação, cozedura, primeiro e segundo arrefecimentos;
- Sala de controlo que tem como função monitorizar todo o processo, não passando nenhum produto ou matéria-prima por esta sala;
- Sala de embalagem, onde se faz uma última análise ao estado da matéria-prima já processada sendo posteriormente embalada. Os desperdícios gerados são posteriormente levados para a sala de desperdícios;
- Arcas de refrigeração, têm a função de armazenarem produtos acabados (embalados). A necessidade da existência destas segundas arcas é para salvaguardar a não

contaminação entre matéria-prima e produtos acabados, sendo esta uma exigência dos sistemas de HACCP;

- Sala de desperdícios, local onde se depositam restos de produtos (desperdícios). Posteriormente estes devem ser carregados no cais de carga ou saída por empresas certificadas;
- Sala de cartonagem, onde se colocam todos os materiais destinados ao embalamento e acondicionamento (ex. cartão), que serão distribuídos posteriormente para a sala de embalamento através de uma abertura que liga diretamente estas duas salas;
- Um cais de saída que é usado unicamente para o carregamento dos produtos embalados e desperdícios.

O esquema da Figura 3 representa as salas com as suas interligações, em particular através do fluxo de matéria-prima.

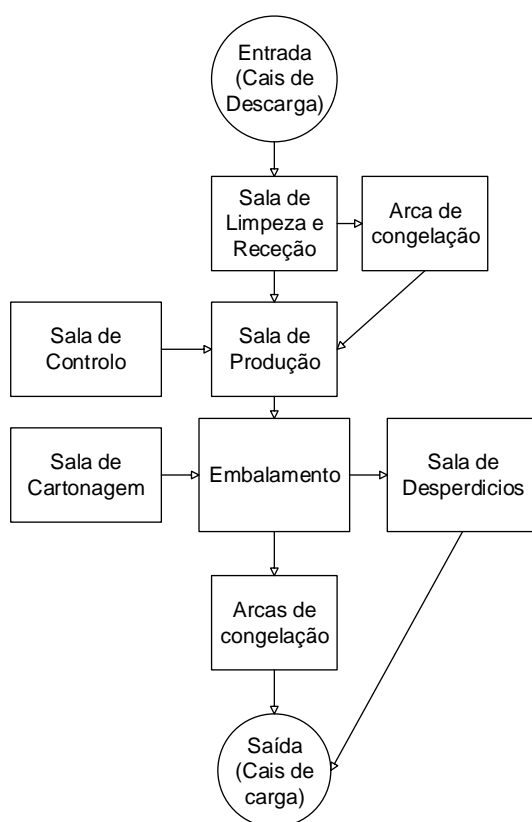


Figura 3 – Esquema piso 0 com as respetivas salas e fluxo de materiais.

Este piso acolhe algumas espécies de crustáceos (camarão e sapateira) e de moluscos (polvo), podendo também ser preparado para processar outras espécies como por exemplo poder fazer a demolha de bacalhau.

A descrição mais detalhada da sala de produção, onde se centra o alvo de estudo para a realização deste trabalho, é apresentada na secção seguinte, começando por uma abordagem às características principais da linha de produção atual.

## 2.2. CARATERÍSTICAS DA LINHA DE PRODUÇÃO ATUAL

A linha de produção permite produzir pratos pré-cozinhados de pescado ou marisco, sendo usada em particular para sapateira ou camarão. Comporta uma capacidade de produção que ronda os 215kg/h considerando-se assim uma linha de pequena-média dimensão.

O processamento divide-se em quatro fases, ou subprocessos que decorrem de forma sequencial (Figura 4). Na primeira fase descongelação (Subprocesso 1), a matéria-prima congelada é levada à temperatura adequada para se poder iniciar a cozedura (Subprocesso 2), seguindo-se um arrefecimento em duas fases, 1º arrefecimento (Subprocesso 3) que coloca o produto na temperatura adequada para o 2º arrefecimento (Subprocesso 4) feito em salmoura de modo a conjugar a condimentação e temperatura adequadas para o obter o produto final.

Cada subprocesso é realizado em equipamentos independentes podendo ser usados individualmente. No entanto no processo global, sequencial, é determinante que ao longo do ciclo de produção se cumpram não só os tempos de estágio e respetivos parâmetros de controlo em cada subprocesso, mas também os tempos estabelecidos para a transferência da matéria-prima entre subprocessos de forma a garantir a qualidade e evitar a deterioração do produto. Para além da necessidade de garantir o controlo em cada subprocesso é necessário garantir também a correta alocação de recursos e balanceamento da linha de produção. Atualmente o controlo é feito de forma manual pelo operador.

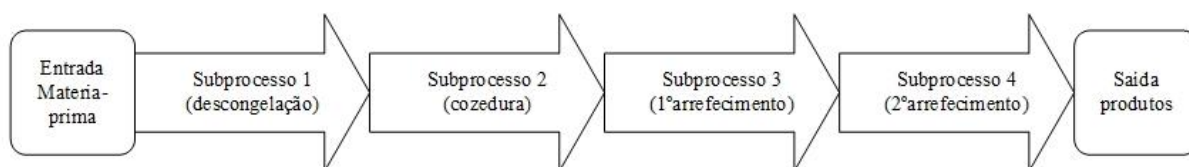


Figura 4 – Subprocessos para o processamento de camarão pré-cozido

Os equipamentos usados na linha atual consistem de quatro dornas ou tanques de 500dm<sup>3</sup> um para cada subprocesso, dispostos alinhados, sendo a transferência de matéria-prima executada com recurso a um guincho com deslocamento longitudinal sobre uma viga. Cada uma destas dornas é abastecida com água potável. Na dorna de cozedura o aquecimento é feito através de queimadores de gás sendo os custos energéticos bastante elevados. Para o arrefecimento dispõe-se de máquinas de produção de gelo.

A matéria-prima é acondicionada em cestos retangulares com capacidade para 6 kg de matéria-prima por caixa. Para além do guincho existem ainda outros meios de transporte manuais para movimentação da matéria-prima e outros produtos, desde a receção até ao armazenamento (ex. porta-paletes manual).

O controlo de tempos e verificação das temperaturas em cada subprocesso é feito manualmente pelo operador, tal como o comando do guincho para transferência de matéria-prima (Figura 5). O tempo de ciclo depende da quantidade de matéria-prima processada sendo aproximadamente de 15-20 minutos, distribuídos pelos quatro subprocessos (descongelção, cozedura, 1º arrefecimento, 2º arrefecimento) e considerando-se desprezável o tempo de transferência entre processos.



Figura 5 – Transferência matéria-prima

As operações de *setup* são igualmente manuais e incluem a preparação dos tanques, i.e. limpeza, enchimento, preparação de salmoura, bem como ligar o sistema de aquecimento e ajustar a temperatura por exemplo através da adição de gelo, entre outras. Estas operações de preparação e limpeza são obviamente importantes e frequentes, por exemplo o preparado de salmoura não pode ser utilizado para além de um dia.

Ou seja é uma linha bastante simples e com ausência de componentes de automação, que poderiam por exemplo incluir sistemas automáticos de carregamento de equipamentos, monitorização, controlo e registo de variáveis, preparação inicial da linha, sinalização do estado do processo e indicação de ações a efetuar pelo operador.

Apesar da solução atual ser baseada no controlo manual e o conhecimento existente ser um fator determinante para a qualidade dos produtos, uma solução automatizada permitiria para além de um maior rigor na identificação e controlo do estado dos processos, a caracterização e o registo desse conhecimento empírico para posterior utilização e salvaguarda.

Esta caracterização do estado atual permite antever várias possibilidades de aplicação de soluções automatizadas dependendo do grau de automação desejado, isto é desde soluções que passam apenas pela monitorização das variáveis de interesse (ex. temperatura) e sinalização do estado do sistema até soluções que incluem também atuação e controlo dos processos com uma participação mais reduzida do operador. O grau de automação irá necessariamente condicionar a escolha dos elementos de controlo e atuação.

Tendo em conta o nível de investimento inicial indicado pela empresa, o estudo consistiria numa abordagem gradual e centrar-se-ia apenas no processamento de camarão pré-cozido. No entanto deveria já contemplar o objetivo de poder suportar a substituição dos vários subprocessos, baseados na imersão da matéria-prima no líquido de aquecimento/arrefecimento, por um sistema mais eficiente baseado na projeção do líquido em chuveiro.

O estudo das soluções de automação contemplou necessariamente uma análise das soluções já disponíveis no mercado para este tipo de indústria, seguida pela caracterização detalhada dos processos a automatizar, apresentadas no capítulo seguinte (cap. 3).



## 2.3. SÍNTESE DOS REQUISITOS DE PRODUÇÃO DA EMPRESA

Tendo em conta a análise da linha de produção atual e os objetivos da empresa sintetizam-se os aspetos a ter em conta na definição de uma proposta de solução para automatização da linha atual:

- O reconhecimento de que a empresa se encontra numa fase de crescimento e de modernização das suas atividades, tendo investido em novas instalações;
- A qualidade dos seus produtos, reconhecida pelos clientes, associada a um conhecimento particular baseado na experiência no processamento da matéria-prima;
- A perceção por parte da empresa de que os seus processos podem melhorar em vários campos, nomeadamente:
  - Na flexibilidade associada à capacidade para adaptar linhas de produção a diferentes produtos e diferentes volumes de produção de modo a ter em conta efeitos sazonais;
  - Ter os seus produtos com qualidade reconhecida nacional e internacionalmente;
  - Ter maior domínio sobre todas as fases de processamento dos seus produtos;
  - Ter mais informação disponível sobre o estado do processo;
  - Ter processos mais eficientes (tempo, energia, desperdícios);
  - Ter produtos a um preço competitivo;
  - Ter um processo mais automatizado;
  - Em geral tornar a empresa mais competitiva no mercado.

Numa abordagem inicial ao problema e tendo em conta as restrições globais quanto ao espaço e aos equipamentos já disponíveis, considerou-se que as condicionantes principais a considerar no desenvolvimento desta abordagem consistiam de:

- Os equipamentos existentes continuariam a servir de base à solução a desenvolver (i.e. aquecimento a gás; utilizar dornas de 500dm<sup>3</sup>);
- Deverão ser cumpridos com rigor os tempos de estágio pré-estabelecidos, podendo posteriormente serem ajustados pelo operador sempre que as condições no decorrer do processo o exijam;
- A matéria-prima nunca deverá ser processada a temperaturas fora do intervalo de valores pré-definidos admissíveis;
- Não haverá reaproveitamento de água resultante do processo;
- A transferência da matéria-prima ao longo do processo é controlada manualmente;
- A técnica base para o processamento (arrefecimento, cozedura) é a imersão;
- Privilegiar uma solução de âmbito e custos mais reduzidos mas que não limite a sua integração ou expansão futuras. Os quatro tanques ou dornas com 500dm<sup>3</sup> de volume continuarão dispostos(a) alinhados(a), devendo ficar o mais próximo possível à instalação da rede de água;

Com base nesta interpretação dos objetivos e necessidades da empresa resultou um plano de trabalho que se baseava em:

- Delimitar o trabalho à automatização de um processo específico do sistema atual (linha de processamento de camarão);
- O estudo prévio de alternativas tecnológicas para o processamento de marisco;
- Monitorizar temperaturas, salinidade e pH nos subprocessos;
- Monitorizar e controlar os tempos de estágio;

- Sinalizar o estado do processo;
- Registrar e disponibilizar toda a informação relativamente às variáveis do processo;
- Controlar o nível de água nos tanques;
- Incorporar um algoritmo capaz de manter o sistema na sua capacidade máxima de produção, tendo em conta a alocação de recursos;
- Construir uma interface gráfica/virtual entre o sistema e o utilizador.

No decorrer deste trabalho a abordagem que se fez inicialmente veio a sofrer algumas alterações como se poderá constatar ao longo do próximo capítulo (cap. 3), principalmente na montagem de uma linha dedicada exclusivamente para o processamento de camarão, onde se debruçará o alvo de estudo, e na técnica usada neste processamento, que em vez da imersão será usada a projeção por chuveiro.

De seguida parte-se para o começo da determinação de uma solução de automação, começando pelo estudo e apresentação de alternativas tecnológicas para o processamento de marisco.

### 3. PROCESSAMENTO DE MARISCO

Neste capítulo começa-se por uma análise das soluções usadas no processamento de marisco, incluindo fabricantes de equipamentos e linhas de produção e a possibilidade de se adaptarem às necessidades da Nortesea. Em seguida apresenta-se uma caracterização detalhada das várias fases do processamento de camarão de acordo com os requisitos estabelecidos e aceites pela empresa. Com base nesta análise é apresentada a estrutura da solução proposta e os requisitos que levarão à escolha dos componentes específicos para cada função.

#### 3.1. SOLUÇÕES PARA O PROCESSAMENTO DE MARISCO

Na atualidade pode-se encontrar marisco no mercado destinado a consumo, seja congelado ou cozido. Este pode ser processado, em alto mar em embarcações de pesca destinados para o efeito, como por exemplo os arrastões congeladores pela popa (Figura 6) (Craveiro, 2009), ou simplesmente sofrer um processo de transformação em ‘terra’ como o que faz a Nortesea.



Figura 6 – Arrastão congelador pela popa (Novo, 2013)

A transformação ou processamento de crustáceos em embarcações de pesca são feitos também de forma cíclica e num único sentido tal como se viu para a Nortesea. A estes estão associadas um conjunto de etapas desde a sua captura até ao seu descarregamento num porto para comercialização como se mostra no fluxograma da Figura 7.

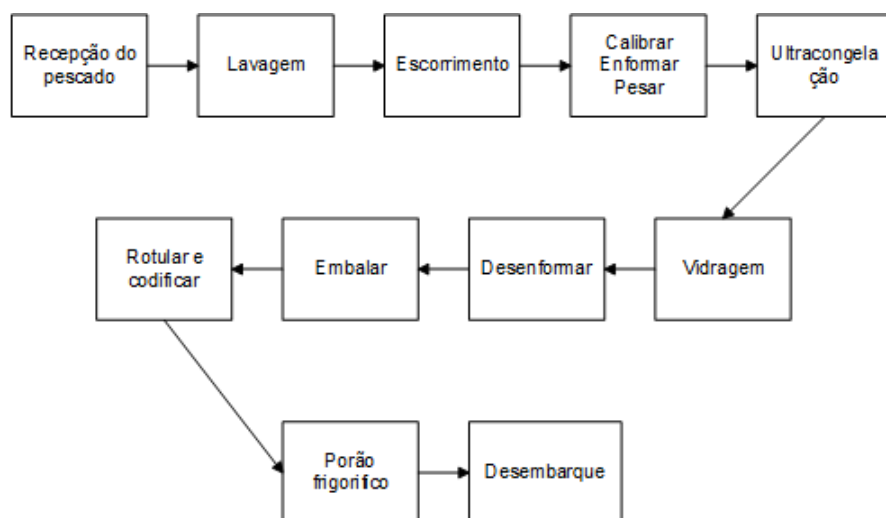


Figura 7 – Esquema das etapas para produtos congelados em alto mar, adaptado de (Craveiro, 2009)

Tradicionalmente para este tipo de produtos que são processados em alto mar usam-se este tipo de embarcações que são autênticas unidades móveis industriais de transformação de pescado. Estes capturam os produtos (crustáceos) por arrastão, separam-nos por tamanho (calibre), congelam-nos, embalam-nos, codificam-nos e armazenam-nos no porão para congelados ficando aptos para a venda ao consumidor final (Craveiro, 2009). Os produtos que daqui resultam podem por exemplo ser recebidos numa empresa de transformação como a Nortesea.

Estas unidades estão devidamente equipadas com sistemas de transporte automático desde a sua receção até à fase de calibragem. Possuem, calibradores automáticos com balanças digitais para controlarem a massa dos tabuleiros, têm um espaço dedicado para receber todo o material de cartão e os porões de armazenamento, têm uma elevada capacidade de refrigeração ( $-30^{\circ}\text{C}$ ) sendo monitorizada a sua temperatura, são controlados e comandados a partir da ponte da embarcação (Craveiro, 2009).

As soluções tecnológicas que se usam em alto mar para a transformação ou processamento de crustáceos (camarão, sapateira, etc.), têm em comum com as soluções em ‘terra’ os mesmos processos básicos, mas naturalmente existem condicionantes de espaço e ambientais que justificam um leque de variadas soluções para suportarem os vários subprocessos, desde a descongelação, cozedura até à fase de arrefecimento específicas para cada caso.

Existem soluções que se podem adequar a empresas como a Nortesea com vários graus de automação e capacidade de processamento. Nomeadamente soluções para controlar com maior eficiência as variáveis mais criteriosas do processo (ex. temperatura) por forma a torná-lo mais homogêneo. Há soluções que apesar de serem automatizadas requerem a presença constante do operador, seja para controlar tempos, verificar temperaturas, ou até mesmo deslocar produtos, como o exemplo que se mostra na Figura 8.



Figura 8 – Operador em serviço em equipamento para processar sapateira

Ao longo dos tempos tem-se evoluído tecnologicamente construindo equipamentos mais eficientes, com maior capacidade de controlo, com um nível de automação maior, adequados a qualquer tipo de empresa mediante a capacidade de produção pretendida, processando diferentes produtos, mas são ainda soluções que necessitam de determinadas ações manuais como por exemplo a transferência de matéria-prima, ou o carregamento dos próprios equipamentos. As soluções podem incluir a linha completa ou dispositivos independentes para cada subprocesso.

### **Equipamentos independentes: Descongelação**

Dentro da gama de alternativas para a descongelação que são mais adequadas a empresas de baixa-média produção, podem encontrar-se armários descongeladores que usam um sistema de descongelação idêntico à projeção de chuveiro (Figura 9) com capacidades até 300kg de produtos processados. Estes usam um circuito fechado de água e incluem resistências elétricas para controlo de temperatura. Vêm já equipados com o seu próprio quadro elétrico com todas as proteções térmicas e de controlo, considerando-se assim um equipamento bastante automatizado (controlo de temperatura) sendo que o seu carregamento é feito de forma manual.



Figura 9 – Armário descongelador por projeção de chuveiro (Palinox, 2010)

Outro modelo de descongelador, neste caso por imersão, o mais comum com controlo de temperatura e com um agitador é o que se mostra na Figura 10 a). O controlo de temperatura é feito com a inclusão de um permutador de calor por placas no interior do tanque. Uma outra solução com mais componentes de automação é o descongelador por irrigação (Figura 10 b)), equivalente à projeção por chuveiro. Neste caso a velocidade dos rolos transportadores pode ser ajustada ao tipo de produto. O primeiro tem capacidade para receber 48 cestos de produtos ( $\approx 290\text{kg}$  para cestos de 6kg), para o segundo esta capacidade é medida pelo tamanho do recipiente para a água.



Figura 10 – Descongelador por imersão a) (Palinox, 2010); Descongelador por irrigação b) (Systems, Sem data)

Outro descongelador bastante interessante e que usa o conceito ‘inverso’ da projeção por chuveiro é o descongelador por aspiração (Figura 11). Os produtos imersos no líquido estão sob uma passadeira que se desloca com uma dada velocidade sendo o líquido literalmente aspirado para a parte superior do equipamento, retornando de seguida à base do tanque. Este equipamento é bastante automatizado (controlo da temperatura, velocidade de transporte ajustável) e já vem devidamente sinalizado e com o seu próprio quadro elétrico e de controlo.

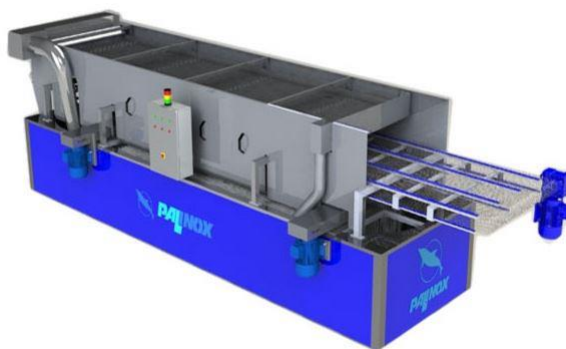


Figura 11 – Descongelador por aspiração (Palinox, 2010)

### Equipamentos independentes: Cozedura

Para a cozedura existem cozedores por imersão de cestas termicamente isolados (Figura 12) também com controlo de temperatura, como a solução mais simples e muito parecida com a

que a Nortesea dispõe, em que se pode optar por ter queimadores a gás ou uma resistência elétrica para o aquecimento de água. Estes modelos podem ser construídos com 300, 500 e 750 dm<sup>3</sup> de volume, logo para empresas com uma capacidade de produção média-baixa.



Figura 12 – Cozedor termicamente isolado (Palinox, 2010)

Outra gama de alternativas é a de cozedores completamente automatizados, nos quais os produtos vão sendo deslocados por um sistema de transporte com velocidade adequada também por imersão, ao invés do que se verifica na gama apresentada anteriormente onde estes permanecem apenas mergulhados sem haver deslocamento. Estes podem posteriormente ser integrados na montagem de uma linha de produção, eliminado o risco de haver queimaduras por parte dos operadores aquando da extração ou colocação dos produtos no equipamento, algo que está presente em processos mais tradicionais, visto que esta fase utiliza água a 100°C. Este tipo de soluções revela-se assim útil quando uma empresa tem o interesse de automatizar apenas este subprocesso.

Os equipamentos desta gama incluem sistemas de transporte automáticos (deslocamento dos produtos no processo), quadro elétrico de controlo, controlo do tempo de estágio e temperatura. Surgem assim os cozedores também por imersão como o da Figura 13. São equipamentos que podem ser facilmente deslocados, caso se pretenda uma possível reconfiguração da linha do processamento, devido ao sistema de rodas que apresentam.



Figura 13 – Cozedor contínuo por imersão (Palinox, 2010)



### Equipamentos independentes: Arrefecimento

Para o arrefecimento existem os túneis de arrefecimento usando salmoura e um sistema idêntico à projeção por chuveiro. Na Figura 14 mostram-se equipamentos para o arrefecimento por salmoura com base em dois tipos de implementação: sistema cinta (a) e sistema ‘palas’ (b). Ambos os sistemas usam o mesmo princípio de funcionamento para controlar a temperatura, usando um permutador de calor de elevado desempenho. Também têm incorporado um agitador. Da mesma forma em ambos, os produtos são colocados diretamente em contacto com a salmoura sendo depois submersos nesta pelos sistemas cinta ou ‘palas’.

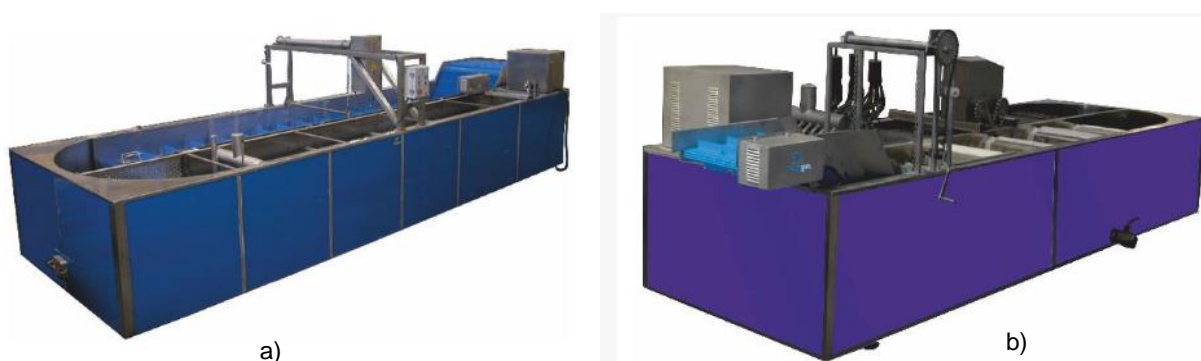


Figura 14 – Arrefecedor por salmoura sistema cinta a); sistema ‘palas’ b) (Palinox, 2010)

Estes são também bastante automatizados (controlo automático do tempo de estágio, controlo da temperatura usando um permutador de elevado rendimento), e com capacidades capazes de serem ajustadas pelo fabricante.

### Linhas de produção automatizadas

O recurso a linhas de produção automatizadas surge da necessidade de se ter um processo mais eficiente e homogêneo garantindo uma melhor qualidade dos produtos quando comparada com a que resulta dos sistemas tradicionais, em que essa interligação é feita baseada num controlo e comando manuais. Através da automatização é possível reduzir, em alguns casos eliminar, os tempos de transporte entre as várias fases ou subprocessos, reduzindo o tempo de ciclo global. Adicionalmente inclui uma maior capacidade para monitorizar e garantir as condições estabelecidas para as diferentes variáveis dos processos. Envolve normalmente um investimento superior e portanto associado a necessidades de maior capacidade de produção.

É possível usar os equipamentos independentes, descritos anteriormente e integrá-los escolhendo ou projetando soluções de transporte mais automatizadas juntamente com sistemas de comando, controlo e supervisão. Estas soluções teriam que ser configuradas caso a caso, por exemplo em função do espaço e características dos equipamentos existentes, usando tecnologias disponíveis no mercado. A Figura 15 mostra um exemplo simples de uma linha típica usada no processamento de sapateira, onde se podem facilmente observar os sistemas de transporte (i.e. por exemplo a passadeira que está a carregar a dorna branca).





Figura 15 – Linha de produção no processamento de sapateira

Alternativamente pode-se considerar uma solução desenvolvida por um só fornecedor de forma completa e integrada.

Na Meyer Industries pode-se encontrar este tipo de linhas e uma sugestão da disposição dos equipamentos das várias fases do processamento vem mostrado na Figura 16.

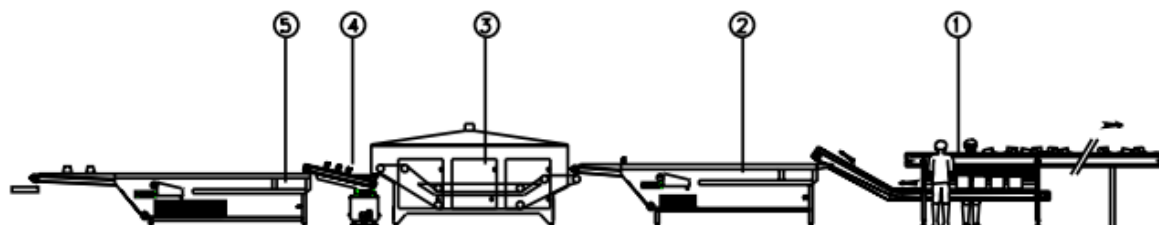


Figura 16 – Linha de produção para o processamento de camarão (Meyer, 2013)

Nesta solução são visíveis os equipamentos para as quatro fases principais:

- Linha de preparação do camarão congelado (1);
- *PolyDefrost*, designação do equipamento para descongelar (2);
- Cozedor (3);
- Sistema de lavagem/pré-refrigeração que equivale ao 1º arrefecimento (4);
- *PolyFreezer*, designação para a refrigeração com salmoura que equivale ao 2º arrefecimento (5).

À partida as alternativas que aqui foram apresentadas poderiam ser integráveis na Nortesea, pois os fabricantes destes equipamentos mostram-se capazes de adaptá-los às necessidades da empresa, no que diz respeito à capacidade pretendida, incluindo o espaço disponível.

Naturalmente são soluções mais eficientes que a solução atualmente em uso na Nortesea devido ao maior grau de automação que permite nomeadamente controlar de forma automática a variável temperatura, identificado com um dos objetivos da Nortesea. No entanto os custos

envolvidos são seguramente bastante mais elevados, do que os associados a uma abordagem gradual para aumentar o nível de automação do sistema existente.

A análise e desenvolvimento de uma solução de automação pressupõe a compreensão dos processos em causa de modo a interpretar corretamente a importância das variáveis associadas e respetivas necessidades de monitorização e controlo, para além da especificação e objetivos inicialmente estabelecidos. Neste sentido apresenta-se de seguida uma análise mais detalhada numa perspetiva de processos físicos envolvidos no processamento de camarão com base nas técnicas de imersão e projeção de líquido em chuveiro.

### **3.2. PROCESSAMENTO DE CAMARÃO – IMERSÃO E CHUVEIRO**

As alternativas para o processamento de camarão, imersão e chuveiro, foram pré-definidas à partida com base no conhecimento existente e interesse por parte da empresa, incluindo a definição dos parâmetros e respetivos intervalos de variação a monitorizar ou controlar. Consistem basicamente de processos de transferência de calor associados a aquecimento ou arrefecimento da matéria-prima, em vários estágios, com ou sem mudança de fase (descongelação, cozedura, arrefecimentos). Durante estes processos é reconhecido o efeito da evolução da temperatura ao longo do tempo na integridade da estrutura interna da matéria-prima e do controlo de microrganismos, determinantes para a qualidade do produto final.

Em geral a análise destes processos com base nos modelos de transferência de calor e das leis da termodinâmica permite prever a evolução da temperatura ao longo do tempo bem como determinar as cargas térmicas associadas. No entanto estas soluções consistem normalmente de métodos aproximados para resolver as equações diferenciais que resultam da variação das propriedades térmicas e termodinâmicas ao longo do tempo e em cada ponto dos corpos considerados. A complexidade envolvida nesta análise é ainda mais acentuada no caso dos produtos da indústria alimentar devido à sua composição e formas particulares, incluindo variações dentro do mesmo lote. Havendo limitações na disponibilidade de dados experimentais e propriedades (físicas/térmicas, termodinâmicas) para estes casos. Uma fonte de informação relativa a dados para alimentos pode encontrar-se no capítulo 9 do *ASHRAE Handbook—Refrigeration (SI)*, 2006, que inclui modelos para a caracterização das propriedades térmicas de alimentos em função da temperatura e da sua composição. A Tabela 1 apresenta algumas características disponíveis para o camarão.

A comparação entre as duas alternativas, imersão e chuveiro, pode ser feita considerando as três formas de transferência de energia devida à diferença de temperaturas: condução (lei de Fourier), convecção (lei de Newton do arrefecimento) e radiação (lei de Stefan-Boltzmann). No caso da imersão em líquido sem utilizar agitadores, o modo de condução e convecção natural assumem um papel mais importante, enquanto na projeção em chuveiro a convecção forçada representa o modo principal e conseqüentemente tornará o processo de transferência de calor mais rápido e adicionalmente mais fácil de controlar. Por outro lado a imersão em líquido favorece a incorporação do líquido no produto, o que não é desejável.

A quantidade de calor total a extrair, ou a fornecer ao produto, pode ser calculada com base nas quantidades e propriedades do produto (massa, calor específico) e na definição das temperaturas inicial e final. Aplicando a lei da conservação de energia pode-se relacionar o calor total com os parâmetros que determinam a evolução da transferência de calor ao longo do processo para dessa forma estimar tempos ou definir coeficientes de transferência de calor.

Na Tabela 1 apresentam-se as algumas das propriedades químicas e térmicas para o camarão.

Tabela 1 – Propriedades químicas e térmicas do camarão, adaptada de (ASHRAE, 2006)

Propriedades do Camarão	
Humidade	75,86%
Proteínas	20,31%
Hidratos de carbono	0,91%
Gordura	1,73%
Cinzas	1,20%
Fibras	0,0%
Ponto inicial de congelação	-2,2 °C
Calor específico acima do ponto de congelação	3,65 kJ/(kg.K)
Calor específico abaixo do ponto de congelação	2,16 kJ/(kg.K)
Calor latente de fusão	253 kJ/kg

A condutividade térmica para pescado, incluindo camarão foi determinada por Sudhaharini Radhakrishnan (Radhakrishnan and Kenneth C. Diehl, 1997) empiricamente, em que, para cada temperatura, usou três amostras de cada espécie (Figura 17).

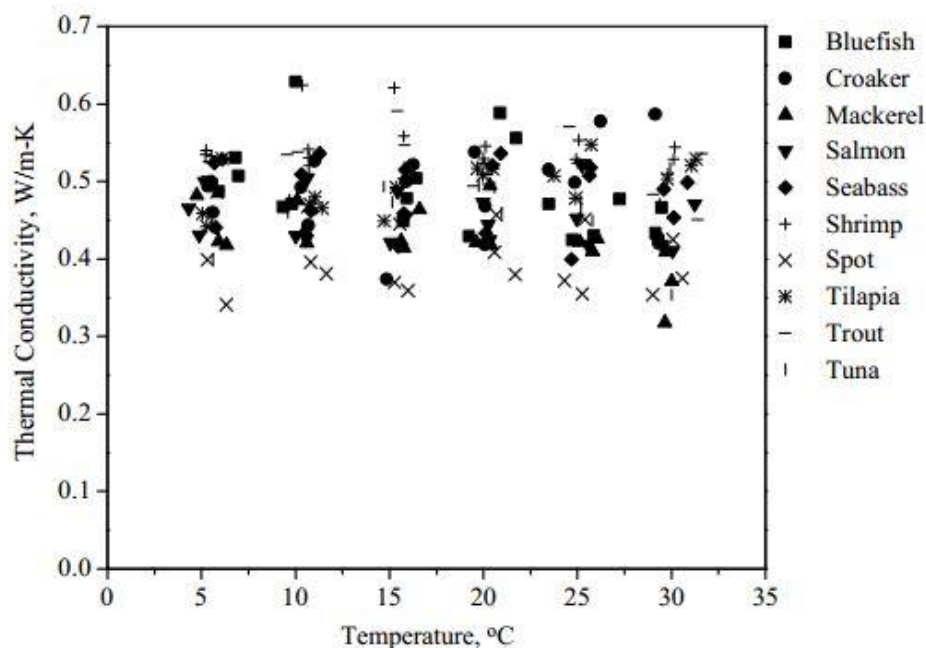


Figura 17 – Condutividade térmica para várias espécies de pescado, adotada de Sudhaharini Radhakrishnan

Tendo em conta esta análise preliminar e os dados relativos às várias fases do processamento de camarão especificados pela empresa definiu-se a proposta de automação apresentada na secção seguinte.

### 3.3. PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO PARA A LINHA DE PROCESSAMENTO DE CAMARÃO

A proposta de automação baseou-se na análise das características da linha usada no processamento de camarão, evidenciando fluxos energéticos, variáveis a medir, entrada e saída de matéria-prima e tempos de transporte. Esta análise inicial foi conseguida após observação da mesma aquando da primeira visita realizada à empresa. Criou-se um esquema representativo desta análise como se mostra na Figura 18.

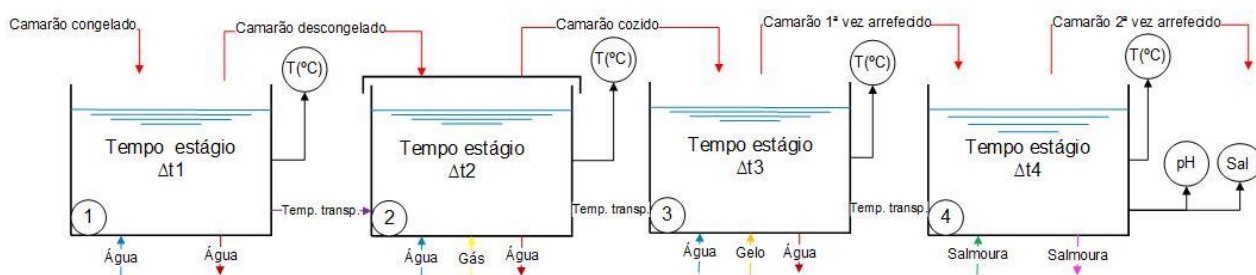


Figura 18 – Esquema linha de camarão

O camarão entra congelado, avulso acondicionado em cestos de 6Kg, percorrendo sequencialmente os quatro subprocessos: descongelação, cozedura, 1º arrefecimento, 2º arrefecimento, saindo a uma temperatura muito baixa ( $\approx 0^{\circ}\text{C}$ ) após 15-20min de processamento.

Nesta figura podem identificar-se os quatro subprocessos e seis variáveis a medir: a temperatura em cada um dos quatro subprocessos, o nível de pH e salinidade da salmoura no 2º arrefecimento, subprocesso 4. Sendo um processo sequencial e estando cada subprocesso próximo do anterior, o transporte é suficientemente rápido (inferior a 1 min) podendo desprezar-se. Tendo em conta os tempos de estágio ( $\Delta t$ ) usados atualmente em cada subprocesso o tempo total de ciclo consistirá de aproximadamente 20 minutos.

Todos os subprocessos usam água potável exceto o subprocesso 4 em que é usada salmoura, uma solução líquida para arrefecer e dar algum sabor ao camarão. Esta tem na sua composição água, ácido cítrico, açúcar e sal (cerca de 26% de salinidade).

No segundo subprocesso, cozedura, o aquecimento da água é feito com gás. No terceiro subprocesso, 1º arrefecimento, usa-se gelo como fonte de arrefecimento.

Este esquema contempla a globalidade de toda a linha de processamento de camarão a partir do qual se partiu para uma análise mais detalhada de cada subprocesso incorporando os elementos considerados necessários para a sua automatização. Em cada subprocesso as soluções foram definidas tendo em conta a especificação da empresa: chuveiro ou imersão para cada subprocesso. No entanto as soluções propostas poderiam ser adaptadas para qualquer uma das duas alternativas.

## 1º Subprocesso: descongelação por chuveiro

( $\Delta t = 5$  a  $6$  min)

A descongelação não é considerada um processo crítico e podia ser feita recorrendo a imersão ou projecção de água em chuveiro. Segundo os dados da empresa o tempo de estágio ( $\Delta t_1$ ) para camarão congelado avulso será de 5-6 minutos. Na solução estudada considera-se a solução pretendida pela empresa, descongelação por chuveiro, sendo ilustrada na Figura 19.

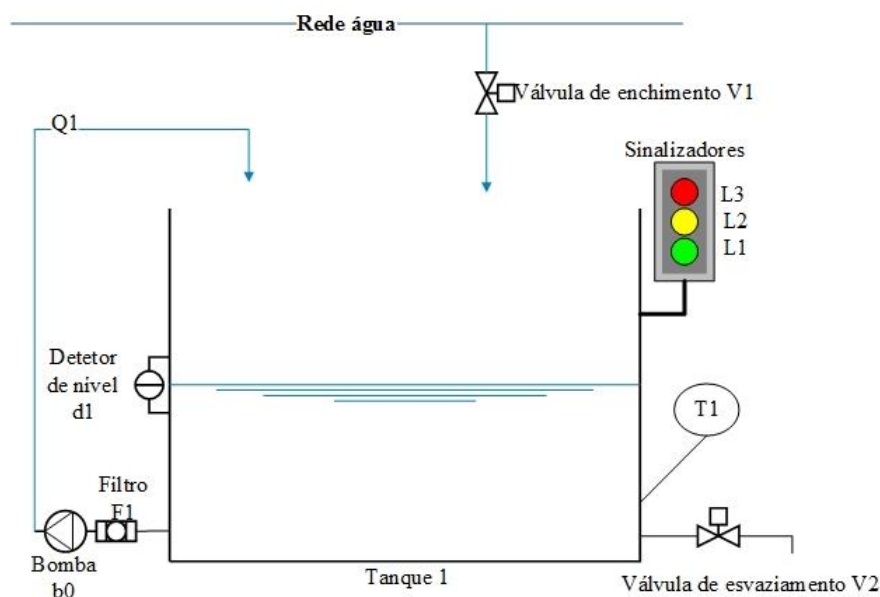


Figura 19 – Esquema Subprocesso 1 – Descongelação

Neste caso o sistema funciona em circuito fechado utilizando uma bomba de circulação de caudal (Q1), para transportar o líquido desde a base do tanque ( $500 \text{ dm}^3$ ) até à parte superior, donde cai sobre o produto através de um chuveiro. Nesta fase apenas se considera um sistema de monitorização da temperatura do líquido no interior do reservatório utilizando um sensor (T1) e do nível máximo de líquido (detetor d1). Prevêem-se também sinalizadores luminosos de 3 cores em coluna (L1, L2, L3), para indicação do estado do subprocesso. O tempo de estágio ( $\Delta t_1$ ) será ajustado em função das características da matéria prima (quantidade, dimensões ou calibre) e da temperatura da água. A água utilizada virá da rede pública prevendo-se o seu controlo através de eletroválvulas para enchimento (V1) e escoamento (V2) do tanque.

Em termos funcionais, na fase de preparação o tanque enche-se com água da rede pública abrindo-se a respetiva eletroválvula de enchimento, o processo de descongelação inicia-se com a colocação da matéria-prima e ativação da bomba de circulação, procedendo-se no final à evacuação do líquido e limpeza do tanque. O controlo do nível de líquido será feito usando a informação do detetor de nível e atuação das eletroválvulas respetivas.

Nesta fase optou-se, por razões de custos, pela utilização de apenas um sensor de temperatura, a ser colocado num ponto fixo, estratégico no tanque.

Os sinalizadores luminosos também serão fixos aos tanques e serão de três cores, verde (L1), amarela (L2) e a vermelha (L3). Estes servirão para indicar o estado de processamento atual em que o subprocesso se encontra. Por exemplo se numa fase inicial se estiver a encher o tanque, (L1) estará intermitente e se estiver em fase de processamento, a descongelar, (L1) estará ligado

continuamente. Após decorrer o tempo de estágio L2 ficará intermitente, se eventualmente se verificar uma situação de funcionamento anormal, por exemplo se a temperatura ou o detetor de nível de líquido exceder os limites definidos, L3 ficará intermitente e se se parar por completo o processo, L3 ficará ligado continuamente.

Os sinalizadores serão desta forma utilizados como um meio de indicação ao utilizador não só do estado de cada processo mas também como indicador para as ações de sincronização e controlo do fluxo do produto.

## 2º Subprocesso: cozedura por imersão

( $\Delta t = 10 \text{ min}$ )

Na cozedura o objetivo é eliminar os microrganismos nocivos existentes na matéria-prima através da sua imersão num líquido a uma temperatura elevada. Neste caso a empresa optou por automatizar o sistema existente, baseado em imersão. A Figura 20 ilustra os elementos principais neste subprocesso. O aquecimento é feito com queimadores a gás, sendo nesta fase mantido o controlo manual. Tal como na descongelação prevê-se a medição de temperatura num ponto do interior do reservatório, deteção do nível máximo de líquido e eletroválvulas para controlo do enchimento e escoamento do reservatório ( $500 \text{ dm}^3$ ) com água da rede de distribuição.

Para além da monitorização do estado do processo relativo à qualidade do produto final, este processo comparativamente com o anterior (descongelação) envolve o manuseamento de produtos a temperaturas elevadas pelo que deve merecer especial atenção na sinalização de situações perigosas para o utilizador.

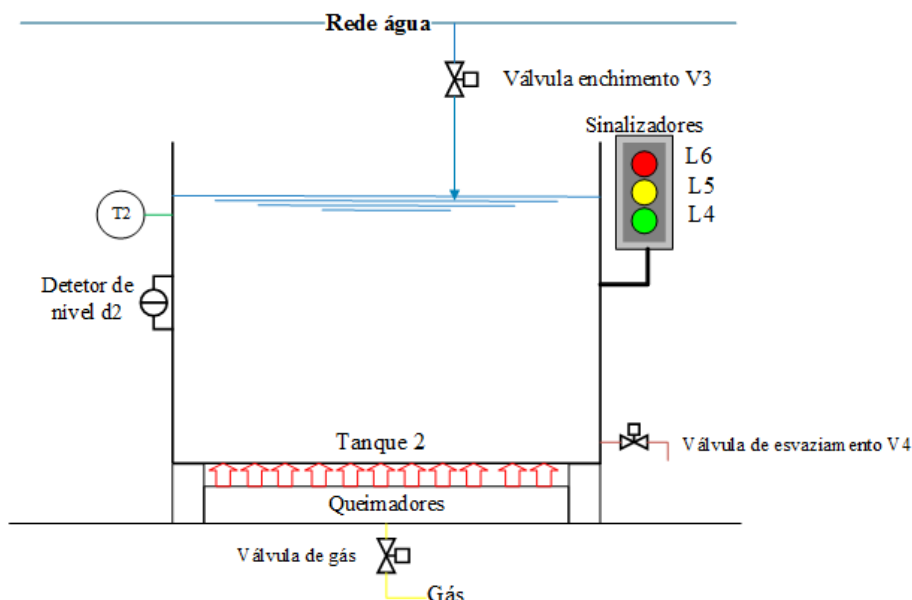


Figura 20 – Esquema subprocesso 2 – Cozedura

## 3º Subprocesso: 1º arrefecimento por chuveiro

( $\Delta t = 3-4 \text{ min}$ )

A Figura 21 ilustra os elementos principais da solução proposta, em que o fluido, água da rede de distribuição, circula em circuito fechado entre dois reservatórios, tanque 3 e tanque 4. O tanque 4 (2000 dm<sup>3</sup>) é mantido numa fonte fria (0-5 °C) e o tanque 3 (500 dm<sup>3</sup>) no exterior recebe o fluido de refrigeração pela parte superior distribuindo-o através de um chuveiro pelo produto a arrefecer. São utilizadas duas bombas de circulação do líquido, uma (b3) para levar o líquido à fonte fria e outra (b2) para levar o líquido ao reservatório de arrefecimento do produto.

A fase de preparação deste subprocesso inclui o esvaziamento, limpeza e enchimento dos tanques, recorrendo-se ao comando de válvulas de enchimento e esvaziamento tal como nos casos anteriores. A deteção de nível de líquido inclui dois detetores de nível (d3 e d4) para permitir a deteção não só do nível máximo mas também do nível mínimo de líquido que permita o funcionamento da bomba de circulação no reservatório de arrefecimento. A sinalização do estado do processo é feita também através de uma coluna com 3 sinalizadores luminosos.

A medição de temperatura (T3) será feita num ponto de entrada do líquido no chuveiro. Em função da quantidade de produto e da temperatura do líquido será ajustado o tempo de estágio, dentro do intervalo de valores permitidos.

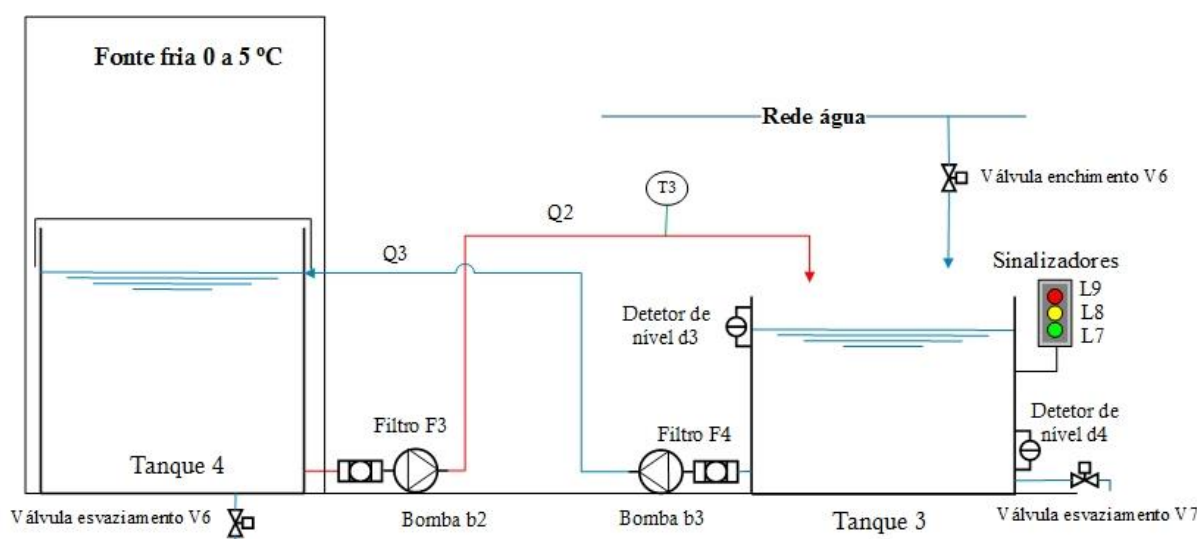


Figura 21 – Esquema Subprocesso 3 – 2º arrefecimento

#### 4º Subprocesso: 2º arrefecimento por chuveiro

( $\Delta t = 1-2$  min)

A solução proposta (Figura 22) para o segundo estágio de arrefecimento é muito semelhante à apresentada para o 1º arrefecimento. Tem uma importância acrescida pois conjuga no mesmo processo a diminuição de temperatura e o tratamento ou condimentação através da salmoura.

Tal como no processo anterior, este estágio de arrefecimento baseia-se na circulação de um líquido para ser projetado através de chuveiro no produto. No entanto o líquido está a uma temperatura mais baixa (-22 °C), consistindo de um preparado, salmoura, à base de sal (26%) e água. Para além da temperatura é importante o conhecimento do valor de pH e salinidade. Uma particularidade deste subprocesso é que a salmoura é preparada de forma manual e só posteriormente é enviada para o arrefecimento, tendo ainda uma duração limitada (inferior a 24h).



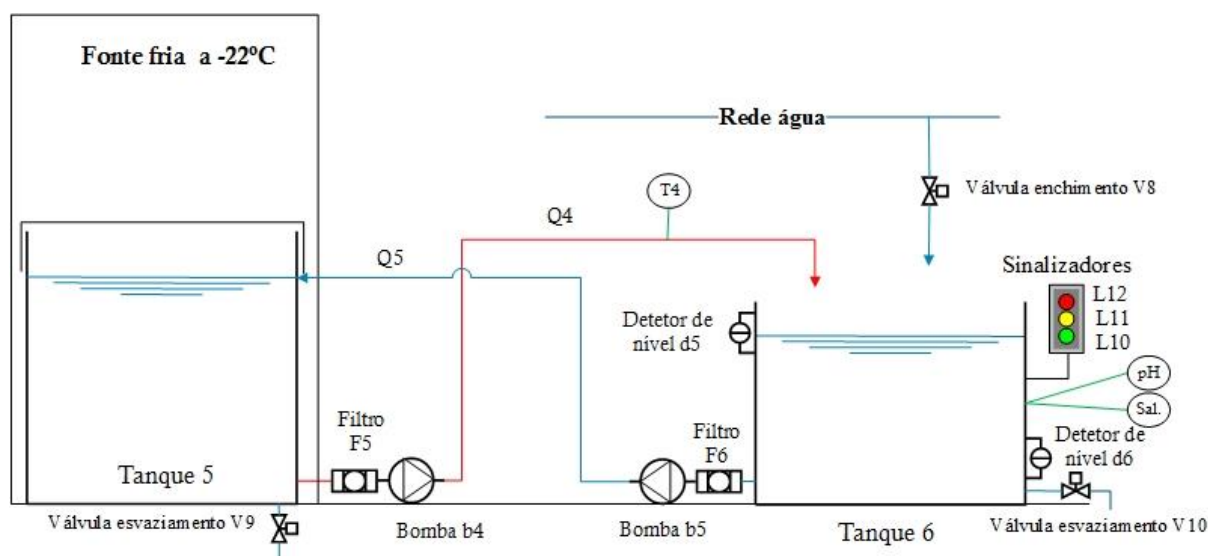


Figura 22 – Esquema Subprocesso 4 – 2º arrefecimento

A solução proposta baseia-se numa implementação gradual tendo em conta as condições disponíveis pela empresa. Não contempla por exemplo a possibilidade de controlo de temperatura nos processos de forma automática, mas antes a monitorização das variáveis consideradas mais importantes, que poderão naturalmente ser incorporados posteriormente numa solução mais automatizada. Na secção seguinte apresentam-se de uma forma global as variáveis a medir e as condições de medição como ponto de partida para a seleção particular de cada sensor e sistema de medição

### 3.4. DESCRIÇÃO E CARATERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS A MEDIR

Após a identificação das variáveis associadas ao processamento de camarão na solução proposta são apresentadas nesta secção as condições do meio em que estão inseridas e algumas das características que são determinantes na escolha dos equipamentos mais adequados para monitorizar ou controlar estas mesmas variáveis.

Um dos aspetos em comum para todos os equipamentos nesta aplicação são os requisitos impostos pela sua utilização na indústria alimentar, em particular os componentes diretamente em contacto com o produto processado.

Outro aspeto a considerar são as condições de utilização em ambientes imersos em água ou mesmo líquidos mais agressivos para os materiais (ex. salmoura). A juntar a estas condicionantes tem-se a utilização em gamas de temperaturas elevadas. Por exemplo se se pretender usar o mesmo tipo de solução para medir temperatura desde a descongelação até ao segundo arrefecimento teremos que considerar gamas de temperaturas elevadas (i.e. -22 a 120 °C). Estes equipamentos devem estar protegidos destes meios e para isso está estabelecido o código IP. Este código classifica os equipamentos quanto à sua proteção contra a penetração de água e contra o contato e penetração de objetos sólidos estranhos (ex. poeiras) nos equipamentos. Essa designação é do tipo IPxy, em que o 'x' diz respeito ao grau de proteção contra sólidos e toma valores de 0 (não protegido) até 6 (sem entrada de poeira) e o 'y' define o grau de proteção contra a penetração de água no equipamento e assume valores de 0 (não protegido) até 8 (protegido contra os efeitos da imersão contínua em água).



Para além das condições do ambiente em que se insere o elemento de medição, é necessário identificar as exigências de resolução e exatidão da medição que satisfaçam os requisitos da aplicação. Neste caso foi considerado que a resolução de 1°C na medição de temperatura é aceitável. No caso do valor de pH da salmoura, não foi estabelecido nenhum pré-requisito especial aceitando-se a gama de 1 a 14, de acordo com o disponível no mercado. A medição da salinidade da salmoura será efetuada antes de entrar na fonte fria, ou seja à temperatura ambiente de referência, cerca de 15 °C. Devido ao elevado valor do teor de sal (26%) presente na salmoura verificou-se que os sensores de salinidade de mais alta gama se baseiam na medição de condutividade. Deste modo identificou-se através de medição experimental um valor de condutividade de 133.2 mS/cm para uma solução de NaCl a 27% (m/v), em água destilada.

Os dispositivos para deteção do nível de líquido estão sujeitos às mesmas condições pelo que a sua escolha deve igualmente ter esses aspetos em consideração.

A contagem dos tempos ao longo do ciclo de processamento será implementada por *software* no elemento de controlo com o recurso a temporizadores.

Na Tabela 2 são apresentados de forma sintética os requisitos das variáveis a medir para o processo em causa.

Tabela 2 – Características das variáveis a medir

Variável	Tipo de variável	Ambiente corrosivo	Meio de medição	Nº Pontos de medida	Gama de medição	Contacto com o fluido
T1	Temperatura	Médio	Água	1	10-15°C	Imerso
T2	Temperatura	Médio	Água	1	92-100°C	Imerso
T3	Temperatura	Médio	Água	1	0-5°C	Imerso
T4	Temperatura	Elevado	Salmoura (15°C) (água+ácido cítrico+açúcar+sal)	1	-22-0°C	Imerso
S5	pH	Elevado		1	0-14pH	Imerso
S6	Salinidade	Elevado		1	250µS/cm- 2500mS/cm (26%)	Imerso

Para além destes requisitos a escolha de uma dada solução para medição da variável desejada implica também a escolha dos dispositivos de tratamento e disponibilização do sinal até aos elementos de controlo e de visualização. As alternativas consideradas para esses elementos são apresentadas de seguida no capítulo 4.



## 4. TECNOLOGIA DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

Neste capítulo são apresentadas as soluções comerciais analisadas para a implementação do sistema de automação, tendo por base a análise e os requisitos estabelecidos anteriormente. Inclui os elementos para identificação do estado do sistema, i.e. sensores, detetores, e sinalizadores, bem como os elementos de atuação, i.e. bombas de circulação e eletroválvulas de enchimento ou esvaziamento. Apresentam-se também os equipamentos escolhidos para implementar a lógica de controlo do sistema e para a interface com o utilizador.

### 4.1. SENSORES DE TEMPERATURA

A temperatura neste processo considera-se a variável de maior relevo, visto que ela é uma das que mais influência tem na qualidade do camarão. Uma das técnicas mais usadas na indústria para se medir esta variável baseia-se na medição da resistência elétrica de um material associada com a temperatura a que o material se encontra. Estes sensores designam-se em geral por RTDs (*Resistance Temperature Detectors*) e caracterizam-se por uma gama de medição alargada ( $-250^{\circ}\text{C}$  a  $+850^{\circ}\text{C}$ ) (Restivo et al, 2008), grande exatidão, elevada estabilidade e boa linearidade.

Os RTDs comparativamente com outra solução também muito usada na indústria, os termopares, têm a vantagem de não necessitar de uma temperatura de referência, necessitando em contrapartida de uma fonte de alimentação.

Dentro da classe dos RTDs podem encontrar-se vários modelos construídos com diferentes materiais que garantem diferentes gamas de temperaturas, tal como se mostra na Tabela 3.

Tabela 3 – Materiais e gamas de temperaturas, adaptada de Wilson (Wilson, 2004)

Material	Gama de temperaturas utilizáveis
Platina	$-268^{\circ}\text{C}$ a $649^{\circ}\text{C}$
Níquel	$-101^{\circ}\text{C}$ a $316^{\circ}\text{C}$
Cobre	$-73^{\circ}\text{C}$ a $149^{\circ}\text{C}$
Níquel/Ferro	$0^{\circ}\text{C}$ a $204^{\circ}\text{C}$

Escolheu-se um sensor de platina, por ter a gama mais ampla de temperatura, boa linearidade e por ser o que melhor resiste a ambientes corrosivos (Wilson, 2004). Este material é também caracterizado pela sua baixa atividade química e temperatura de fusão elevada que permitem que este possa ser usado em condições difíceis a altas temperaturas sem que os seus parâmetros se alterem significativamente comparativamente quando são usados o cobre e o níquel (Nawrocki, 2005).

Tipicamente os sensores utilizados na indústria em geral são colocados em bainhas e montados diretamente no processo. A Figura 23 mostra a composição típica adotada para este tipo de sensor.

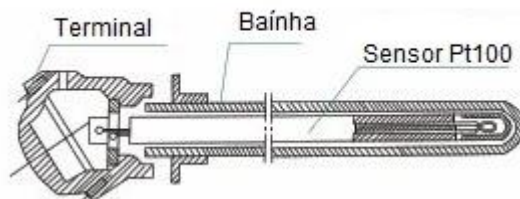


Figura 23 – Sensor de Temperatura com bainha industrial, adaptada de Nawrocki (Nawrocki, 2005)

Assim escolheu-se na Jumo um sensor de platina adequado para a indústria alimentar com um valor da sua resistência a 0°C de 100Ω, normalmente designado por Pt100, cujas características são apresentadas na Tabela 4, incluindo as do transmissor.

O transmissor consiste num circuito de condicionamento de sinal necessário, por um lado, para compensar erros associados às resistências dos cabos e às suas variações com a temperatura. O transmissor neste caso apresenta uma saída em corrente (4-20 mA), mas que é facilmente convertível numa saída em tensão.

Tabela 4 – Dados técnicos do sensor Pt100 e do transmissor (JUMO, 2010)

Sensor de Temperatura	
Tipo de sensor	Pt100 (100Ω a 0°C) segundo a IEC751 - Classe A
Construção	Bainha em aço inoxidável 316L – 6mm x 100mm (D x L)
Terminal	Aço inoxidável IP67
Conexão ao processo	G1/2 roscado com vedação cónica
Gama de medição	-50°C a 250°C
Transmissor	dTrans T03B saída 4-20mA (2 Fios)
Preço/unidade c/transmissor	187€
Quantidade	4 Pt100 e 4 transmissores

Também será da Jumo o transmissor analógico para integrar no terminal do sensor o qual vem mencionado na Tabela 2. A Figura 24 ilustra o sensor de temperatura e transmissor, escolhidos.

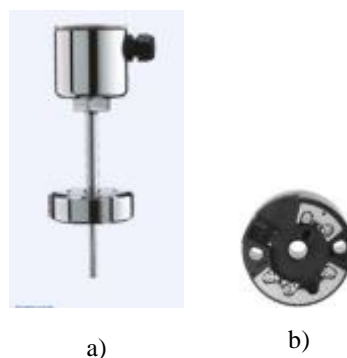


Figura 24 – Sensor Pt100 a); Transmissor analógico para Pt100 b) (JUMO, 2010)

Para o Pt100 existe ainda uma tabela estabelecida segundo a Norma IEC751 para os valores de referência da sua resistência que variam em função da temperatura, como se observa na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores característicos da resistência de um Pt100, adaptada de Nawrocki (Nawrocki, 2005)

T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)
-200	18,52	50	119,40	250	194,10	600	313,71
-100	60,26	100	138,51	300	212,05	700	345,28
-50	80,31	150	157,33	400	247,09	800	374,75
0	100,00	200	175,86	500	280,98	850	390,48

Como se pode verificar na tabela acima para um aumento de temperatura existe sempre um aumento na resistência. Com estes valores pode verificar-se pelo gráfico da Figura 25 a elevada linearidade que o sensor de platina apresenta. O conhecimento destes valores pode ser útil para sempre que se achar necessário, fazer um teste ou calibrar o sensor.

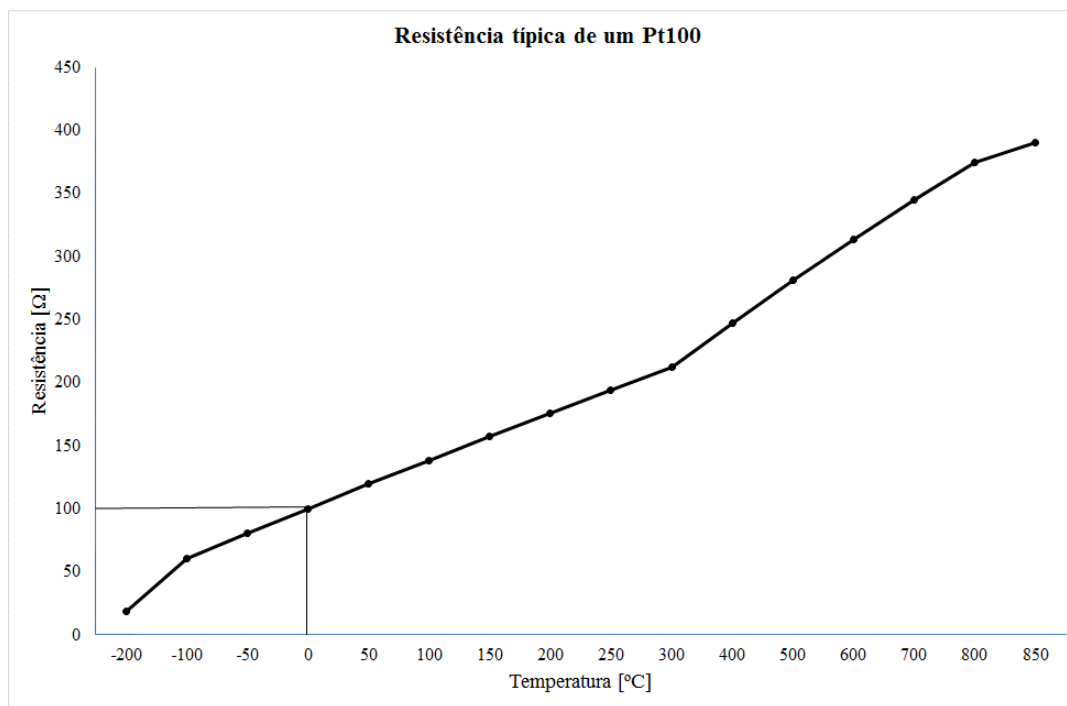


Figura 25 – Gráfico da variação da resistência do sensor de platina Pt100

## 4.2. SENSOR DE SALINIDADE E PH

A medição da salinidade e do nível de pH da salmoura, usada na última fase do processamento de camarão, 2º arrefecimento, são considerados fundamentais como elementos de caracterização dessa mistura de componentes, diretamente associada à qualidade do produto final através do sabor conferido e da inibição de crescimento de microrganismos.

A salinidade consiste no teor de sal dissolvido numa solução aquosa correspondendo a cerca de 26% no caso da salmoura utilizada. O nível de pH caracteriza o carácter ácido/básico de uma solução através da quantificação da concentração de iões de hidrogénio ( $H^+$ ) usando uma escala de 0 a 14 (0:1 mol/l, 14:  $1 \times 10^{-14}$  mol/l).

Tal como na medição de temperatura a necessidade de uma monitorização contínua destes parâmetros leva à utilização de transdutores ou sensores, em detrimento de métodos de deteção pontuais, com indicação visual, também muito usados na indústria alimentar.

### 4.2.1. MEDIÇÃO DE PH

Os métodos principais de medição de pH através de sensores baseiam-se num método eletroquímico. Utilizando elétrodos sensíveis às cargas elétricas resultantes da presença de iões  $H^+$  na solução aquosa e a medição da diferença de potencial eléctrico resultante entre o eléctrodo de medição sensor e o eléctrodo de referência (F. J. Kohlmann, Hach Company, 2003). Com base neste método existem diferentes tipos de elétrodos, por exemplo elétrodos de membrana de vidro, de membrana líquida e sensores de pH de óxido metal/metal (Norman and Anthony 2014).

Para além destes métodos para determinar o valor de pH existem os já conhecidos e muito utilizados baseados em indicadores de corantes (de absorção ou fluorescentes), indicadores em de papel e ainda sondas de pH de fibra ótica.

A solução comercial escolhida é um sensor da Hach Lange, uma empresa de referência nesta área e que dispõe de várias soluções para este tipo de medições em particular com aplicação na indústria alimentar. A solução escolhida (pHD-S-sc, Figura 26) pressupõe a escolha do sensor ou sonda e também do sistema de tratamento de sinal. Esta escolha foi feita por ser um equipamento indicado para aplicações na indústria alimentar e por conseguir medir a salinidade em gamas mais alargadas de valores.



Figura 26 – Sensor pHD-S sc para medir pH (Lange, 2012)

Na Tabela 6 são apresentadas os dados técnicos referentes a este equipamento.

Tabela 6 – Dados técnicos do sensor pHD-S sc (Lange, 2012)

Sensor pHD-S sc	
Sensor temperatura	NTC 300 Ohm
Gama de medição	0-14 pH
Gama de medição de temperatura	-5 a 75°C
Velocidade máxima do fluido a medir	3m/s
Materiais do corpo da sonda	Aço inoxidável, Ryton (PVDF)
Materiais do eletrodo	Vidro, Titânio
Pressão máxima da amostra	2 bar
Transmissão de dados	Controlador digital SC 200, SC100 ou SC1000
Cabo	10m
Dimensões	44mm x 342mm (D x L)
Peso	0,3kg
Quantidade	1
Preço	600€

Uma das alternativas para ler o valor deste sensor, é utilizar um controlador também ele fornecido pela Hach Lange, designadamente o SC 200 (Figura 27). Este controlador para além da visualização da leitura através de um display, dispõe ainda de saídas analógicas, 4-20mA que permitem disponibilizar o sinal para outros elementos de controlo que disponham de entradas compatíveis (ex. módulo de entradas analógicas) e pode ter também portas de rede Modbus 232 e 485 ou Profibus DP. Este é um controlador que tem capacidade para receber sinais digitais em dois canais, ou seja, podem conectar-se dois sensores com saídas digitais. Este controlador pode ainda ser configurado para receber dois sinais analógicos ou um sinal digital e um analógico.



Figura 27 – Controlador SC200, retirado do datasheet SC 200 Digital 2 Channel Controller (Lange, 2010)

Na Tabela 7 são apresentados os dados técnicos para este controlador.

Tabela 7 – Dados técnicos do controlador SC 200 (Lange, 2010)

Controlador SC200	
Requisitos energéticos	100 a 240 VAC, 50 60Hz 24 VDC -15%/+20%
Temperatura de operação	-20 a 60°C - 0 a 95% humidade relativa s/ condensação
Temperatura em armazém	-20 a 70°C - 0 a 95% humidade relativa s/ condensação
Saídas analógicas	2 a 4-20mA
Saídas analógicas: Modos funcionais	Linear, logarítmica, bilinear, PID
Entradas	2 Entradas digitais
Sensores aplicáveis (dos sensores digitais apresentam-se os que medem o pH e a condutividade)	pH/ORP: pH-D-S sc, 1200-S sc Condutividade: 37898-S sc
Materiais da caixa (invólucro)	Polícarbonato, Alumínio, Aço inoxidável



Classificação do material da caixa	IP66
Variantes de configuração	2 Sensores digitais, 1 sensor digital e 1 analógico ou 2 sensores analógicos
Quantidade	1
Garantia	2 Anos
Preço	1000€

#### 4.2.2. MEDIÇÃO DE SALINIDADE

Os métodos principais para a medição de salinidade baseiam-se em determinar a quantidade total de sólidos dissolvidos (TDS-Total Dissolved Solids) através da sua separação em laboratório, usar a sua relação com a condutividade elétrica da solução aquosa, usar a alteração provocada no índice de refração pela existência de sais dissolvidos, ou ainda associar a variação de densidade ao teor de sais dissolvidos. Tal como no caso anterior da medição de pH, também neste caso há interesse em ter um método que nos forneça uma medição contínua e não pontual ou apenas visual.

Deste modo e tendo em conta o elevado valor do teor de salinidade que se pretende medir (26%) o método escolhido baseia-se na medição de condutividade elétrica. Optou-se por escolher um sensor de condutividade também da Hach Lange, designadamente o 3798-S (Figura 28). Foi escolhido este modelo, porque pode conectar-se ao mesmo controlador que o sensor de pH dispensando o uso de um outro controlador o que torna a solução mais barata.



Figura 28 – Sensor de condutividade 3798-S sc para medir a salinidade, retirado do datasheet 3798-S sc: *digital inductive conductivity sensor* (Lange, 2004)

O sensor “é composto por duas bobinas completamente isoladas, a primária e a secundária. Na primeira é aplicada uma tensão em corrente alternada (AC) criando um campo eletromagnético no líquido circundante e consequentemente uma corrente elétrica neste. A corrente detetada na segunda bobina é usada para determinar a condutividade do líquido.” (Lange, 2013). Na Figura 29 estão representados de forma esquemática os elementos que compõem o dispositivo.

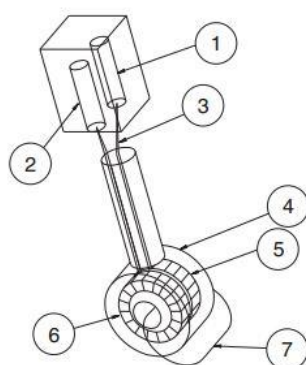


Figura 29 – Esquema sensor condutividade, adotada de 3798-S sc *Digital inductive conductivity sensor* (Lange, 2013)

Onde neste esquema os números representam:

1. Recetor;
2. Oscilador;
3. Cabo;
4. Isolamento;
5. Bobina recetora;
6. Bobina transmissora;
7. Linha do campo magnético.

Tabela 8 – Dados técnicos do sensor 3798S (Lange, 2004)

Sensor de condutividade 3798-S sc	
Método de medição	Indutivo
Sensor de temperatura	Pt100
Gama de medição	250 $\mu$ S/cm a 2500 S/cm
Gama de medição de temperatura	-5 a 60°C
Velocidade máxima do fluído	4m/s
Temperatura da amostra	-5 a 50°C
Pressão máxima da amostra	2 bar
Materiais em contacto com o fluído	Aço inoxidável, PPS, PEEK
Transmissão de dados	Controlador digital SC200, SC100 ou SC1000
Peso	1kg
Dimensões	42mm x 360 mm (D x L)
Cabo	10m, com conector encapsulado num IP68
Quantidade	1
Preço	700€

Tal como referido no caso do sensor de pH, o dispositivo de tratamento de sinal pode ser o mesmo, o controlador SC200 (Figura 27, Tabela 7), que permite ligar dois sensores e já inclui compensação de temperatura. A partir do controlador o sinal fica disponível através das saídas analógicas (4-20mA).

#### 4.3. DETETORES DE NÍVEL

A deteção do nível de água nos tanques que estão associados ao processo será feita com a ajuda de um detetor de nível da SICK da série LFV300. A preferência por este interruptor de nível é por ser adequado para aplicações com maiores exigências a nível higiénico tal como a indústria alimentar. Além disso este permite ter sinais de saída em relé, transístor, Namur e interruptor sem contacto. Pode ainda ter um adaptador de temperatura que permite alargar a gama de temperaturas de utilização do equipamento. Optou-se por escolher o LFV310 onde na Tabela 9 se mostram as características do modelo.

Tabela 9 – Dados técnicos do interruptor de nível da série LFV300 (SICK, 2010)

Detetor de nível LFV310	
Pressão do processo	-1 a 64 bar
Terminal	Plástico, alumínio ou aço inoxidável
Ligação para montagem	G ¾", G1", flange
Temperatura de operação	-50° a 150°C
Temperatura ambiente	-40° a 70°C
Grau de proteção	IP66/67 ou IP66/68 (0.2bar)
Precisão	±2mm
Tempo de resposta	500ms
Saída	Relé DC
Alimentação do relé	20...253 VAC; 20...72 VDC
Quantidade	6
Preço	Aguarda proposta

#### 4.4. SINALIZADORES LUMINOSOS

A utilização de sinais luminosos em processos industriais representa um meio de interface para o utilizador expedito, eficiente e de baixo custo. Permite rapidamente identificar a sua localização junto dos processos bem como as ações a executar pelo operador. Por outro lado a informação transmitida é necessariamente mais reduzida.

Neste trabalho optou-se por escolher um tipo de sinalização bastante comum na indústria, com três níveis, ou seja três cores: verde, amarelo e vermelho. Para além da cor, cada sinalizador pode ter diferentes comportamentos, ou estados como por exemplo desligada, acesa continuamente ou intermitente, a que corresponderão estados particulares do processo respetivo e consequentemente ações que devem ser tomadas pelo utilizador.

Este tipo de sinalização aparece muitas vezes também associada a estações de trabalho como parte integrante dos sistemas de segurança quer do processo quer do utilizador. Nesta aplicação pretendem-se sinalizadores que possam ser integrados facilmente junto dos equipamentos em cada subprocesso (reservatórios) bem como do respetivo sistema de controlo. Devendo obviamente ser facilmente detetáveis pelo operador em qualquer ponto do processo. Assim escolheu-se uma torre luminosa fabricada pela Werma, de três níveis, com as características que a Tabela 10 apresenta a seguir. Na Figura 30 mostra-se um exemplar da solução escolhida.

Tabela 10 – Dados técnicos da torre luminosa, datasheet Werma e catálogo RS (Werma, Sem data)

Torre Luminosa 693 LED-Signal Tower Kompakt 36	
Tipo	3 níveis
Cores	Verde, amarelo, vermelho
Tensão de operação	24 V DC
Tipo fixação	Superfície, tubo, parede
Consumo de corrente por nível	40mA
Dimensões (diâmetro x altura) – 3 níveis	36 x 147mm
Vida útil	>50000h
Quantidade	4
Preço/unidade	70,86€



Figura 30 – Torre luminosa, imagem retirada do datasheet Werma

Esta solução é de fácil integração num controlador lógico programável (PLC) sendo inclusivamente possível ligar diretamente o sinal de atuação de cada LED a um módulo de saídas digitais, tendo esta torre um consumo mínimo de corrente de 120mA.

#### 4.5. BOMBAS E ELETROVÁLVULAS

As bombas e eletroválvulas são os elementos principais diretamente inseridos nos circuitos de circulação dos fluidos em cada processo: água da descongelação, da cozedura, do arrefecimento inicial e a salmoura de arrefecimento final. Podendo também incluir-se as águas usadas na preparação e limpeza dos processos. Devem por isso ser compatíveis com os requisitos particulares da utilização em processos alimentares e de resistência a ambientes agressivos ou corrosivos.

Em relação ao dimensionamento das eletroválvulas a sua escolha está diretamente ligada ao caudal de circulação, devido às perdas de carga que introduzem, e consequentemente está diretamente associada ao dimensionamento das tubagens que servem de suporte ao circuito.

Em termos de soluções comerciais a Parker oferece inúmeras soluções para eletroválvulas. As válvulas de enchimento serão de menor tamanho em comparação com as válvulas de esvaziamento para que o esvaziamento seja feito de forma mais rápido. Ambas são de duas vias e atuadas por um relé a 24V em corrente contínua. Na Tabela 11 são apresentadas outras características para cada uma destas válvulas. O sinal que se tem que enviar ao relé será do tipo digital.

Tabela 11 – Dados técnicos das electroválvulas, catálogo *Fluid Control Express* (Parker, 2012)

Válvula para o enchimento	
Material	Aço inoxidável
Tamanho do orifício	1/8"
Pressão de serviço (água)	10 bar
Potência	10W
Relé	Classe H – 24VDC
Quantidade	4
Preço	55€
Válvula para o esvaziamento	
Material	Aço inoxidável
Tamanho do orifício	1"
Pressão de serviço (água)	6 bar
Potência	22W
Relé	Classe H – 24VDC
Quantidade	5
Preço	55€

Em relação ao dimensionamento das bombas de circulação, consideradas para os processos de arrefecimento, a sua especificação em termos de caudal e pressão de saída está diretamente

ligada à capacidade pretendida de extrair calor para o sistema de arrefecimento, uma vez que o caudal mássico de água (ou salmoura) é o meio principal através do qual se dá a transferência de energia do camarão para o exterior.

O cálculo do fluxo de líquido de refrigeração necessário para arrefecer uma dada quantidade de produto (camarão), considerando a análise dos fluxos de energia (térmicos) através da superfície de um volume de controlo definido para incluir o produto a arrefecer, tendo em consideração os vários modos de transferência de calor (i.e. condução, convecção, radiação) é particularmente complexa neste caso. Por um lado não são facilmente disponibilizadas as propriedades físicas e termodinâmicas do camarão (Tabela 1, Pág.21), obrigando à sua aproximação através de informações sobre a sua composição orgânica. Por outro lado seria necessário considerar uma aproximação à sua forma geométrica de modo a usar um modelo conhecido para estimar a distribuição de temperatura ao longo do seu corpo. Por outro lado ainda, não são conhecidos os coeficientes de transferência de calor associados ao método utilizado de projeção do líquido em forma de chuveiro e também nada se sabe sobre o circuito de tubagem onde haverá certamente perdas de carga.

É no entanto possível estimar um valor aproximado tendo em conta apenas valores médios associados à variação de temperatura desejada e os tempos já pré-definidos para a duração dos processos. No caso do arrefecimento a quantidade total de energia que se pretende retirar do produto associada a uma variação de temperatura de um valor inicial ( $T_{ini}$ ) até um valor final ( $T_{fin}$ ), considerando que não há mudança de fase, corresponde ao calor sensível e pode ser calculado usando a seguinte equação:

$$Q_{total} = mC_p(T_{ini} - T_{fin}) \quad (4.5.1)$$

Em que:

- $m$  - massa de produto;
- $C_p$  - calor específico;
- $T_{ini}$  e  $T_{fin}$  - temperatura inicial e final.

Tendo por base o tempo pré-definido ( $\Delta t$ ), o fluxo de calor médio no intervalo de tempo pretendido será:  $\frac{Q_{total}}{\Delta t}$

Considerando este fluxo médio necessário e a capacidade do fluido de arrefecimento associada à variação de entalpia entre duas temperaturas pré-definidas, podemos definir um limite mínimo para o caudal de fluido necessário:

$$\frac{Q_{total}}{\Delta t} = \left(\frac{m}{\Delta t}\right) (h_2 - h_1) \quad (4.5.2)$$

Destas considerações resultou um valor de caudal aproximando de 4l/min.

Tendo em conta o ajuste experimental dos tempos de arrefecimento para diferentes lotes de produto (diferentes calibres) e a facilidade de obter bombas com caudal ajustável, propõem-se a escolha de bombas com essa funcionalidade.

Para a escolha das bombas optou-se pela Grundfos, empresa que apresenta soluções várias para a indústria alimentar entre outras.

Esta oferece uma gama em que podem fazer variar o seu caudal tendo incorporado o controlo eletrónico da velocidade do motor. Segundo a empresa as bombas desta série são compactas, de elevada fiabilidade e apresentam um nível de ruído reduzido.

Dentro das possibilidades de materiais em que são construídas tem-se ao dispor o ferro fundido e o aço inoxidável. Pelo tipo de indústria e pelo ambiente em que vão ser inseridas mais uma vez a escolha recai para o aço inoxidável AISI 316/DIN 14401 que oferece elevada proteção à corrosão contra líquidos corrosivos (Grundfos, 2010). Com base nas características técnicas da Figura 32 (Grundfos, 2010), pode-se optar pela série CM de 50Hz.

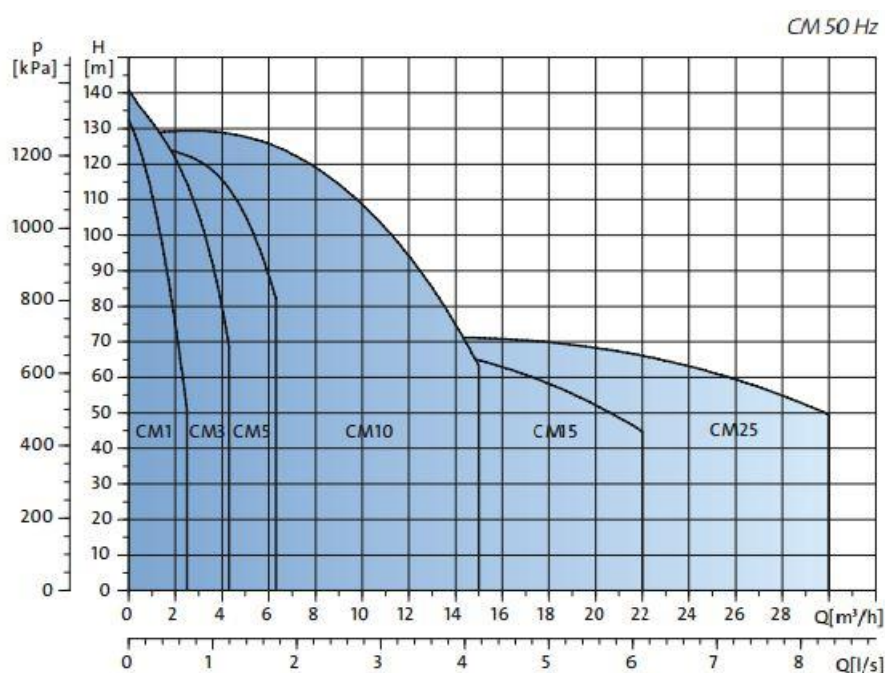


Figura 31 – Curvas de performance bombas CM 50Hz (Grundfos, 2010)

#### 4.6. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL E HMI

Nesta secção apresenta-se a solução proposta para os elementos programáveis e de interface com o utilizador incluindo a descrição e análise das características desses elementos.

No que diz respeito às soluções para controlo e interface foram consideradas inicialmente várias opções tendo-se no final optado pela utilização de um controlador lógico programável (PLC-Programmable Logic Controller) e uma interface com o operador programável (HMI-Human Machine Interface). Esta alternativa foi preferida relativamente a uma solução baseada em PC e placa de aquisição de dados, juntamente com *software* comercial do tipo SCADA para elaboração da interface com o utilizador, incluindo monitorização e controlo do sistema. A solução baseada em PLC à partida oferece uma solução mais facilmente escalável e uma implementação gradual uma vez que podemos ter os elementos de controlo direto junto dos processos, mantendo a possibilidade de ligação futura a elementos de controlo mais global ou de supervisão. Por outro lado não necessita de um investimento inicial em *software* de supervisão normalmente usado em sistemas mais complexos.

Para a solução baseada em PLC e HMI, podem-se considerar ainda inúmeras alternativas de fabricantes e configurações. Em relação aos PLC as alternativas diferem na capacidade de processamento, memória, módulos de entradas e saídas, e outras opções de ligação a outros dispositivos de controlo. Em relação às HMI diferem nas capacidades gráficas associadas às características do ecrã ou display, capacidades de programação e integração com outros dispositivos.

Tendo em conta os objetivos estabelecidos e a capacidade para testar as soluções a partir de uma implementação experimental com base em equipamentos disponíveis em laboratório, optou-se pela escolha de equipamentos da Omron.

### HMI-Human Machine Interface

Começando pela HMI, equipamento que fará a interação entre o sistema e o utilizador/operador e será nesta que toda a informação será visualizada e guardada em relação ao estado do processo. Escolheu-se uma HMI do tipo compacta de 7", mais concretamente a NB7W-TW01B (Figura 32).



Figura 32 – HMI NB7W TW01B (Omron, 2014)

Na Tabela 12 são apresentadas as características desta HMI.

Tabela 12 – Dados técnicos da HMI (Omron, 2014)

NB7W – TW01B	
Tipo de ecrã	7" TFT LCD
Resolução de ecrã	800 x 480
Número de cores	65536
Tipo de iluminação	Led
Duração dos Led	50000h em tempo de operação a 25°C



Painel toque	Membrana resistiva, duração 1000000 de toques
Memória interna	128Mb
Interface de memória	Memória USB
Tipo de comunicações	Ethernet, RS232C, RS485/422A
Proteção frontal	IP65
Potência de consumo	11W
Temperatura ambiente de trabalho	0-50°C
Humidade relativa do ambiente	10%-90% sem condensação
Preço unitário	700€

Para a programação desta HMI terá que se usar o NB-Designer com a versão 1.10 ou acima. É neste *software* que se configura o tipo de comunicação com o PLC e se criam todos os ambientes gráficos de interface para o utilizador.

### PLC-Programmable Logic Controller

No que diz respeito ao controlador lógico programável, há vários modelos que a Omron dispõe, desde controladores lógicos programáveis modulares aos compactos. Todas estas soluções funcionariam e adequavam-se ao pretendido, mas na escolha deste teve-se em conta o facto de esta solução ser alvo de expansões progressivas o que poderá trazer a incorporação de novos sistemas e consequentemente de novas variáveis.

O modelo deste PLC é da família modular da série CJ, nomeadamente o CJ2M-CPU32 (Figura 33).



Figura 33 – Modelo da CPU 32

Para este modelo da CPU na Tabela 13 mostram-se as características técnicas desta.

Tabela 13 – Dados técnicos da CPU 32 do PLC modular (Omron, 2014)

CJ2M-CPU32	
Temperatura ambiente de operação	0 a 55°C
Humidade ambiente de operação	10% a 90%
Consumo	5VDC, 0,7A
Vida da bateria	5 anos a 25°C
Capacidade do programa	10K setps
Capacidade da memória de dados	160K words
Capacidade para montagem de unidades	40 unidades (até 2560 pontos)
Tipo de comunicações	Ethernet IP, RS232C, RS-422A/485, USB
Tempo de execução	0,04µs instruções básicas 0,06µs instruções especiais
Modos de operação	Run, Monitorização e Programação
Cartão de memória	128Mb, 256Mb ou 512Mb
Preço aproximado	1400€

Juntamente com a CPU terá de usar-se uma fonte de alimentação, a PA202 (Figura 34) que admite uma tensão máxima de 240VAC.



Figura 34 – Fonte de alimentação

Na Tabela 14 são apresentados os dados técnicos para este módulo.

Tabela 14 – Dados técnicos da fonte de alimentação CJ1W-PA202 (Omron, 2014)

Fonte de alimentação PA202	
Intervalo de entrada	85 a 264VAC

	47 a 63Hz
Consumo	50VA máx.
Capacidade da saída a 5VDC	2,8A
Capacidade da saída a 24VDC	0,4A
Potência máxima da saída	14W
Preço aproximado	155€

Para que se consiga de forma lógica atuar, com sinais digitais, lâmpadas, válvulas e bombas é necessário que se tenham módulos de entradas e saídas. No caso deste trabalho foram identificados como sinais digitais de saída, os doze LED das torres de sinalização, as dez eletroválvulas e as seis bombas que no total perfaz o valor de 28 saídas digitais. Serão necessários assim dois módulos de saídas digitais a relé, sendo o modelo o OC211, como se mostra na Figura 35.



Figura 35 – Módulo de saídas digitais

Na Tabela 15 são apresentadas as características referentes a este módulo.

Tabela 15 – Dados técnicos do módulo de saídas digitais (Omron, 2014)

Módulo CJ1W-OC211	
Número de saídas	16 saídas a relé
Tensão nominal	250VAC
Tipo de conexão	M3, Screwless
Quantidade	2
Preço/unidade	208,95€

Da mesma forma, mas como entradas digitais ter-se-ão apenas os seis detetores de nível e só se necessita por isso de um módulo de entradas, o ID211, como apresenta na Figura 36.



Figura 36 – Módulo de entradas digitais

Na Tabela 16 apresentam-se as características para este módulo

Tabela 16 – Dados técnicos do módulo de entradas digitais (Omron, 2014)

Módulo CJ1W-ID211	
Número de entradas	16 Entradas DC
Tensão nominal	24VDC
Tipo de conexão	M3, Screwless
Quantidade	1
Preço/unidade	225€

A nível de sinais analógicos, contabilizam-se os quatro, associados aos sensores de temperatura, o do sensor de pH e o do sensor de condutividade (que mede a salinidade), contabilizando no total de 6 entradas analógicas. Como os sensores de temperatura terão incorporados transmissores, o sinal que vai dar entrada no módulo será em corrente e não em tensão, o mesmo se passa como o sensor de pH e condutividade visto que carecem de um controlador onde as respetivas saídas são também em corrente. Para isso o módulo analógico AD081-V1 com oito entradas será o que irá receber estes sinais. É em tudo idêntico ao da Figura 37 que só tem 4 entradas.



Figura 37 – Módulo de entradas analógicas com 4 entradas

Na Tabela 17 apresentam-se as características para o módulo de entradas analógicas.

Tabela 17 – Dados técnicos do módulo de 8 entradas analógicas (Omron, 2014)

Módulo CJ1W-AD081-V1	
Número de entradas	8
Gamas sinais de entrada	1 a 5V 0 a 5V 0 a 10V -10 a 10 V 4 a 20 mA
Precisão	Tensão (V):0,2% Corrente (I):0,4%
Resolução	1/8000
Tempo de conversão	250µs/ponto
Tipo de conexão	M3 ou <i>Screwless</i>
Quantidade	1
Preço aproximado/unidade	640€

Na Figura 38 mostra-se este PLC após a incorporação/montagem de todos os módulos atrás mencionados.



Figura 38 – PLC modular montado com os respetivos módulos

Este modelo tem uma particularidade de conectar os seus módulos por via de uma ficha e não por cabo, o que torna a montagem mais sintética não havendo tanta probabilidade de danificar a ligação entre módulos. No conjunto (i.e. com os módulos necessários) este tem um custo aproximado de 2837,9€. É também de fácil montagem em calhas DIN o que permite ter uma melhor organização de espaço no quadro elétrico onde vai ser montado, quer do PLC em si quer dos restantes componentes.

Neste capítulo 4 procedeu-se à escolha de todos os equipamentos que darão resposta às diferentes variáveis do processo, bem como aos elementos de controlo e de interface com o utilizador. Será no capítulo seguinte (cap. 5) que se complementará a solução com a estruturação de todos os programas desenvolvidos e com a conceção de uma solução protótipo.

## 5. SOLUÇÃO TECNOLÓGICA ADOTADA

Neste capítulo descrevem-se os métodos e procedimentos que levaram ao desenvolvimento e teste dos programas elaborados para o PLC. Analisa-se a proposta final de automação do processamento de camarão para a empresa Nortesea Lda.

### 5.1 CARATERIZAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Tendo definido a estrutura do sistema de automação (Figura 39) onde se incluem os elementos de recolha de informação (i.e. sensores, detetores e sinalizadores), os elementos de atuação (i.e. válvulas e bombas), os elementos de comando, controlo e monitorização (i.e. PLC, HMI,...) é possível proceder à elaboração dos programas que permitem o funcionamento lógico do sistema de acordo com o pretendido.

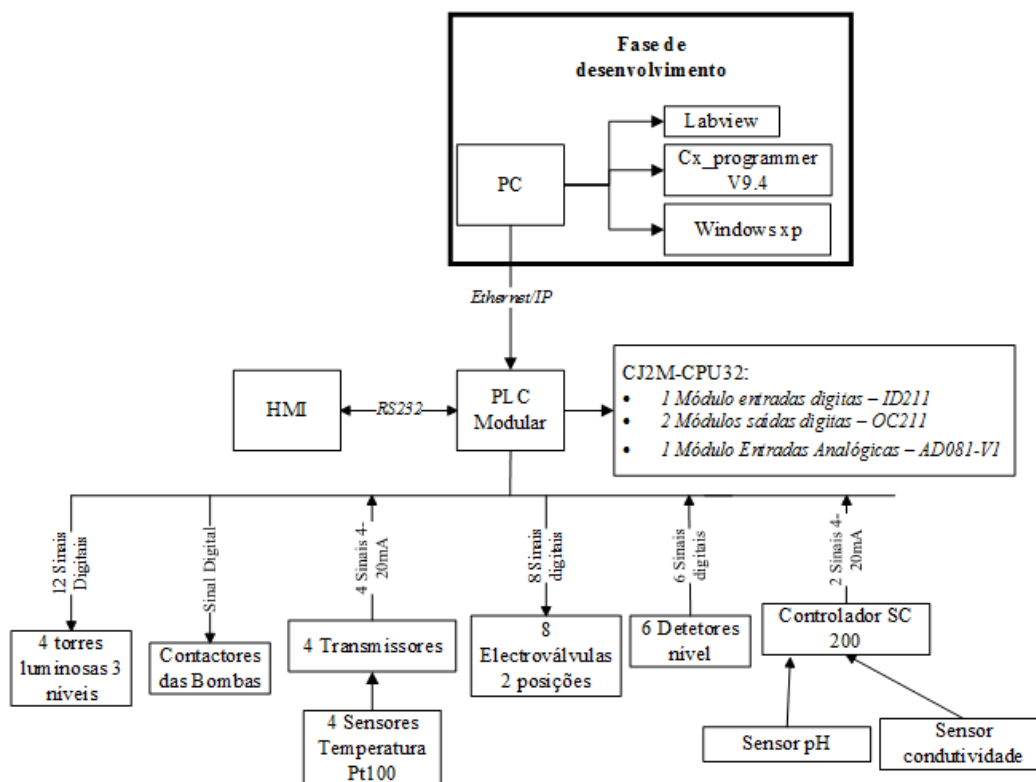


Figura 39 – Estrutura do sistema de automação

Desta forma procede-se à caraterização do funcionamento do sistema desde a perspetiva do utilizador até à caraterização da estrutura dos programas e da sua implementação, quer para o controlador lógico programável (PLC), quer para a interface com o utilizador (HMI).

A caraterização do funcionamento do sistema na perspetiva do utilizador baseia-se na análise do ciclo de funcionamento no processamento de camarão e de cada um dos subprocessos. É

também necessário definir os modos de funcionamento (i.e. ciclo a ciclo, processos independentes), a informação a introduzir e a disponibilizada pelo sistema.

Na perspetiva de desenvolvimento dos programas de funcionamento é necessário caraterizar os estados de funcionamento que garantam o funcionamento correto e todas as situações possíveis.

## 5.2. MODOS DE FUNCIONAMENTO - ESTRUTURA DO PROGRAMA PRINCIPAL

Um dos requisitos é fornecer informação ao longo do processo, i.e. o sistema deve guardar informação sobre todas ou algumas das ações tomadas no decorrer do processo. Pode ter-se informação que só é do interesse dos responsáveis e pode ter-se um outro tipo de informação que é disponibilizada ao operador relativamente ao estado geral do processo, por exemplo este ser avisado que há temperaturas no processo que não são adequadas, ou quando este deve colocar produtos em processamento.

Do ponto de vista, do operador/utilizador a perceção da alocação de recursos é fundamental para que este seja sempre encaminhado a agir no processo no tempo certo. Assim com recurso a um diagrama de *Gantt* como se mostra na Figura 40 consegue-se ter essa perceção. Este diagrama tem por objetivo ser o ponto de partida na implementação de um algoritmo que permita ter sempre o processo controlado de modo a minimizar o tempo de espera na transferência entre processos.

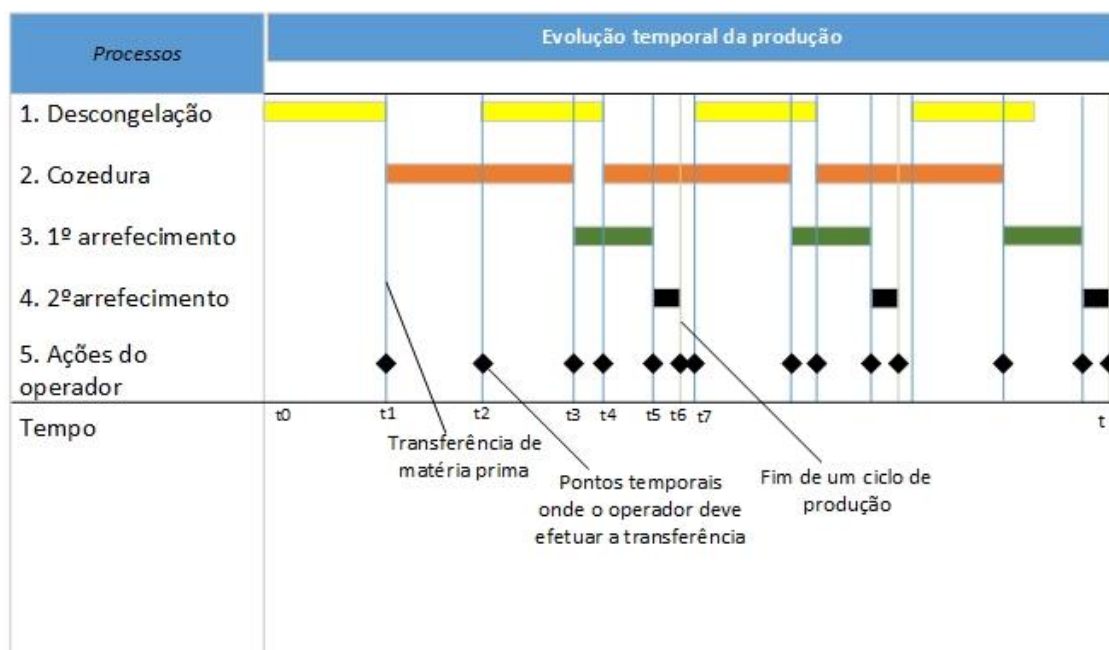


Figura 40 – Diagrama de Gantt

Por observação do diagrama e como já foi mencionado no capítulo dois um ciclo fica completo assim que termine a fase do 2º arrefecimento. No decorrer desse ciclo o programa deverá ser capaz de identificar os pontos temporais em que se devem iniciar os subprocessos em relação ao que está em execução. Neste caso o sistema não abdicará do (s) operador (s), visto que será sempre necessário fazer pelo menos a transferência de matéria-prima entre subprocessos.



Para além disto e ainda do ponto de vista do utilizador, a idealização de todo o programa passa por se pensar nas funcionalidades que este quer ver implementadas, i.e. quais os modos que poderão estar presentes (ex. modo automático, manual, inserir novos produtos, etc.).

No caso do presente trabalho partiu-se da estruturação do programa principal na sua forma mais simples tal como se pode observar pelo esquema da Figura 41, para o qual se foram particularizando os pontos que se consideraram mais relevantes.

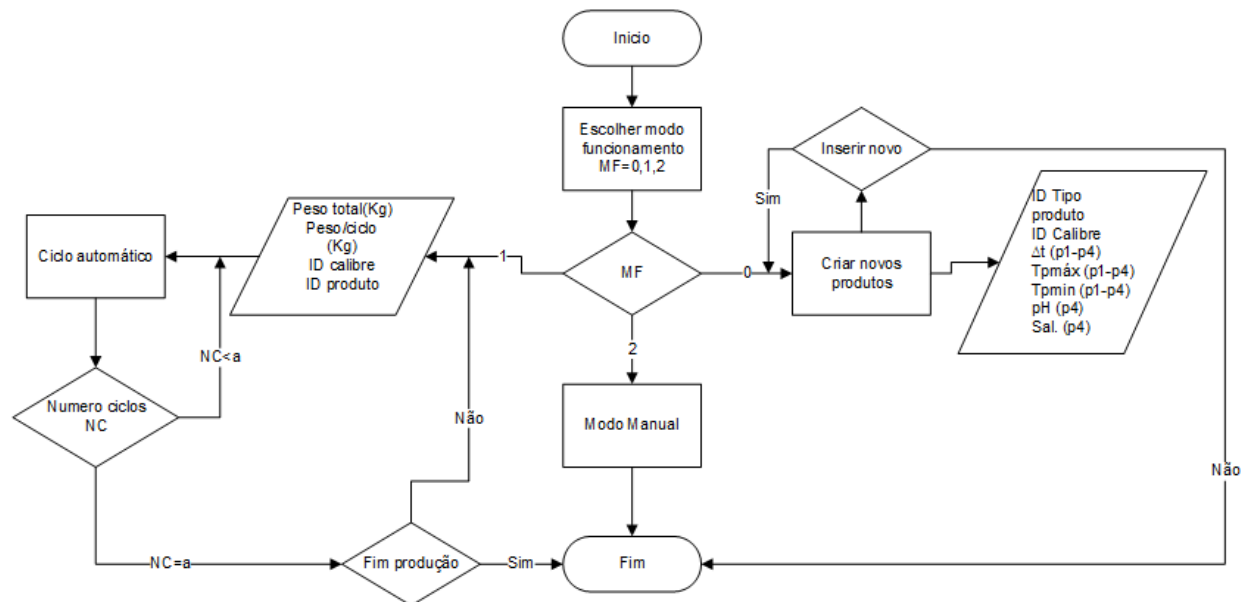


Figura 41 – Estrutura do programa principal

Portanto, o programa terá três modos possíveis para escolha (MF), nomeadamente o modo automático, o modo manual e a criação de novos produtos.

No modo de criação de novos produtos o utilizador pode inserir novos produtos preenchendo os campos ID Tipo produto, ID calibre, temperatura máxima e mínima, tempo de estágio, valor de pH e Salinidade para os quatro subprocessos. Poderá também se assim o entender atualizar ou modificar dados que já estejam previamente guardados.

No modo manual o utilizador terá ao seu dispor três modos (MM), o *setup* dos equipamentos, a visualização ou teste das variáveis do sistema, como se pode verificar pelo esquema da Figura 42.

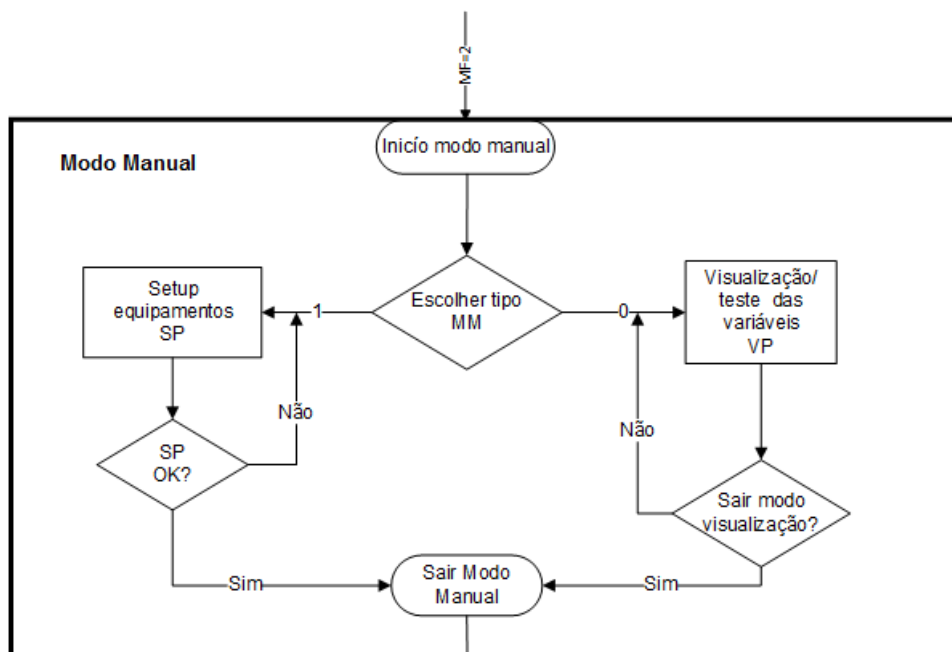


Figura 42 – Estrutura modo manual

Detalhando o modo de visualização ou teste o utilizador tem acesso à visualização do estado dos atuadores e sensores bem como ao teste destes, i.e. o utilizador pode forçar a sua atuação. No esquema da Figura 43 mostra-se a estrutura deste modo.

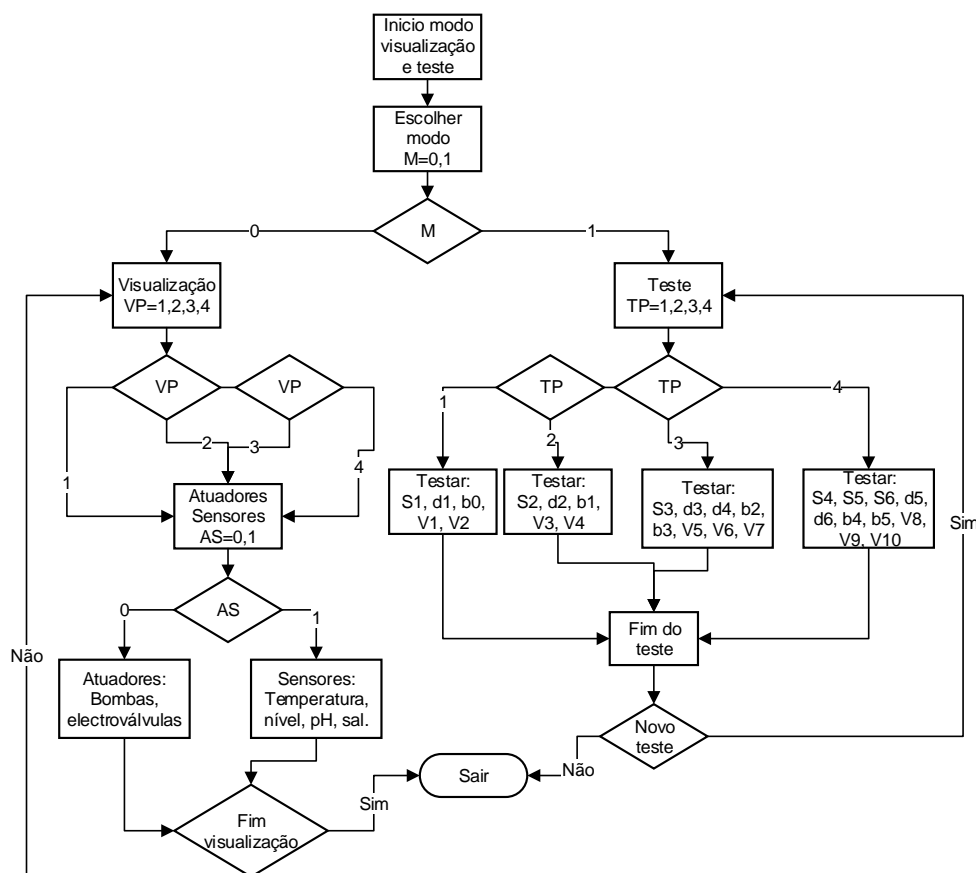


Figura 43 – Estrutura do modo de visualização e do modo de teste

Por observação do esquema acima o utilizador tem a possibilidade de escolha entre uma visualização do estado dos atuadores e sensores sem que este possa alterar o seu valor de estado, sendo apenas no modo de teste que este tem a oportunidade de atuar e testar estes.

De seguida na Figura 44 mostra-se de forma detalhada a estrutura do programa do modo *setup* de equipamentos.

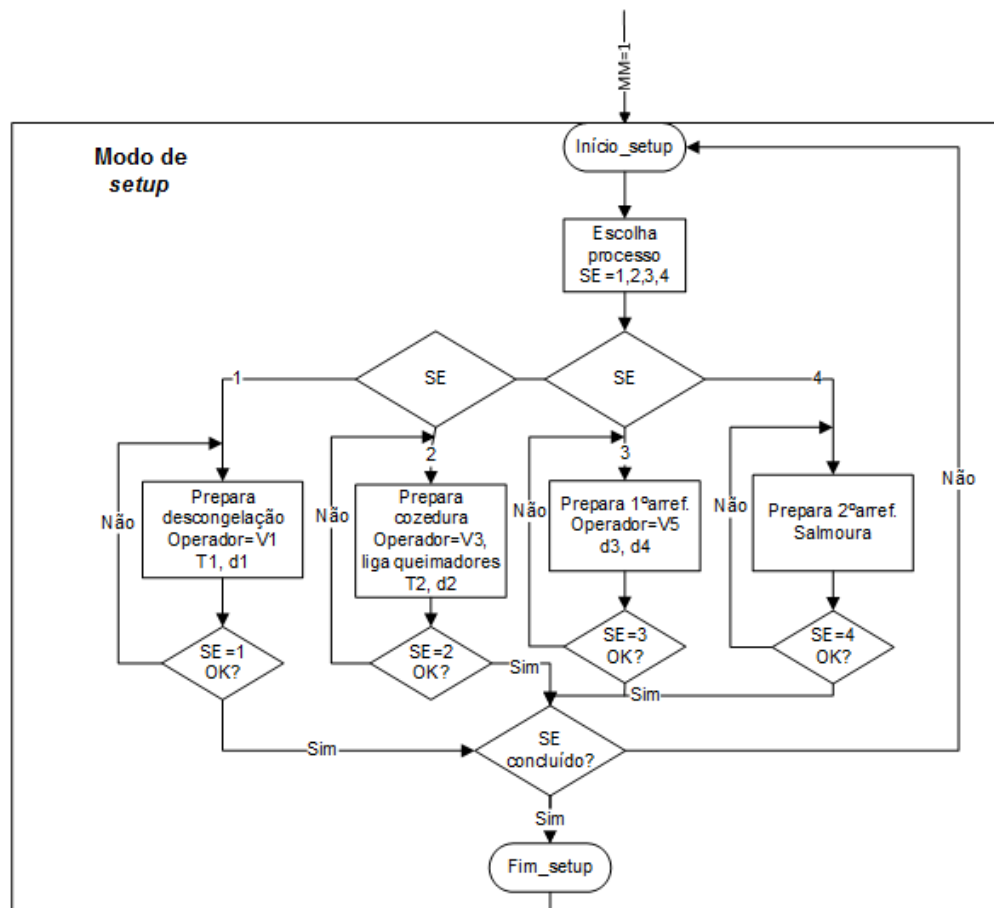


Figura 44 - Estrutura do modo de *setup* (Figura 42)

É neste modo que o utilizador deve preparar todos os equipamentos inerentes ao processo. Essa preparação pode ser feita de forma aleatória, mas tendo em conta que à priori alguns necessitam de mais tempo como é o caso do tanque da cozedura e do tanque da salmoura. Proceda-se de igual forma para o modo de limpeza, também ela pode ser feita de forma aleatória neste modo *setup*.

Quando o utilizador escolhe o modo do ciclo automático (Figura 45) este deverá fornecer dados ao programa como o peso total do produto e o peso que por ciclo é processado para que este calcule assim o número de ciclos necessários para processar todos os produtos. O utilizador deve ainda indicar o calibre e o tipo de produto para que o programa assuma os valores de todas as variáveis para os vários subprocessos. Este modo termina quando o número ciclos (NC) for igual ao número de ciclos calculado, sendo posteriormente o utilizador confrontado com a decisão de querer ou não terminar a produção.

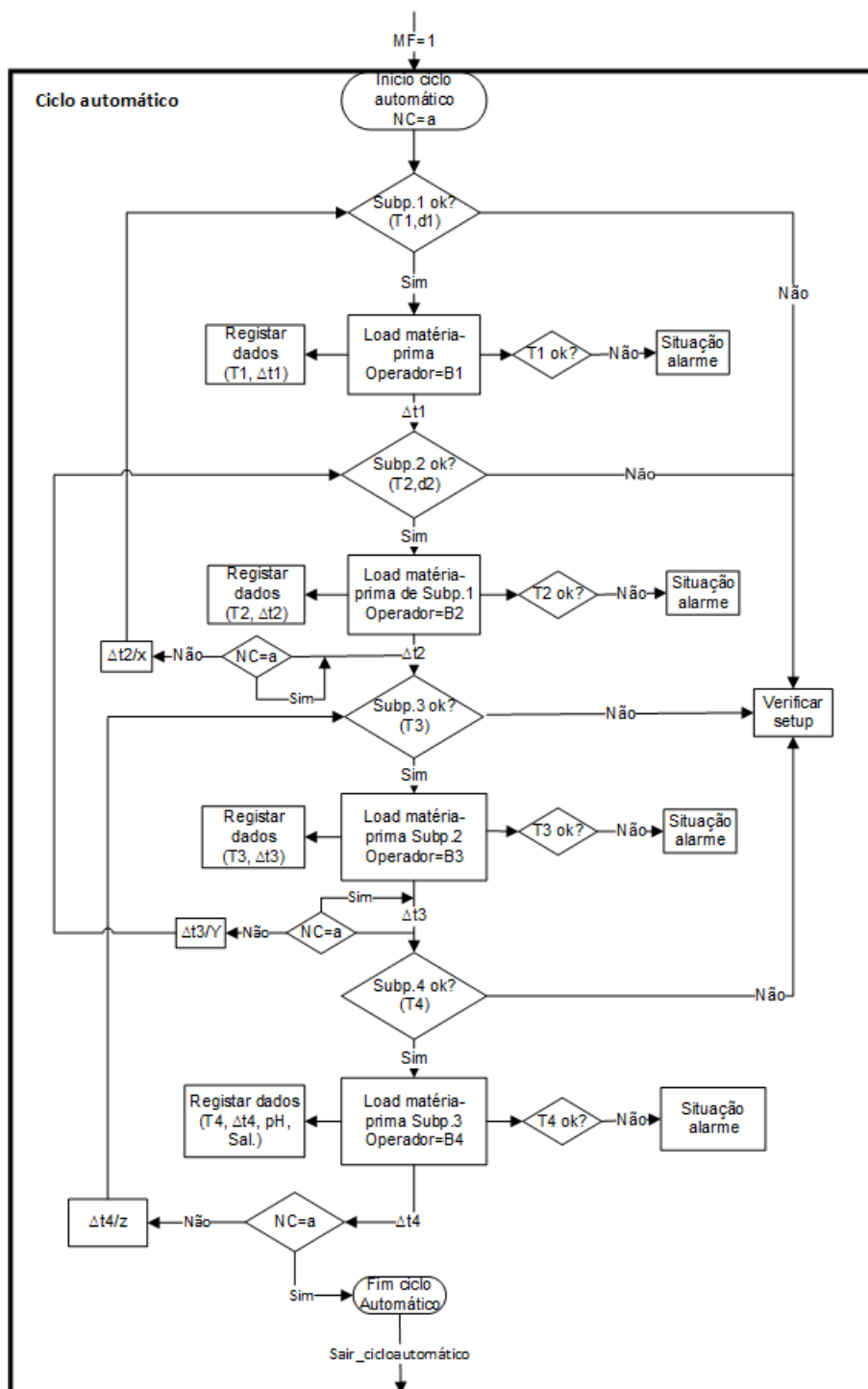


Figura 45 – Estrutura detalhada modo ciclo automático (Figura 41)

O programa deverá registar todos os dados recolhidos pelos diferentes sensores e os tempos de estágio. Este registo é importante pois é um suporte para a identificação de alguma anomalia no processamento dos produtos. O programa deve ainda ser capaz de sinalizar situações de alarme por exemplo através do acionamento de sinalizadores ou *buzzer*. Estas situações advêm do facto do programa estar a monitorizar o intervalo de valores para as várias temperaturas no decorrer do processo.

A idealização destas estruturas permite ao programador da solução ter uma visão mais ampla do programa na percepção do utilizador final e perceber quais as funcionalidades que devem

obrigatoriamente constar no mesmo. Servem ainda para determinar os elementos de programação mais adequados para desempenharem as várias funções do sistema.

A seguir apresenta-se o código desenvolvido para os vários comportamentos de cada subprocesso aliados a um modo de funcionamento escolhido pelo utilizador.

### 5.3. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

Nesta secção do capítulo 5 fala-se essencialmente sobre o(s) método(s) utilizados na idealização e implementação dos programas e no estudo do comportamento de cada subprocesso, relativamente à sua evolução no tempo. Duas formas simples para analisar e traduzir o comportamento de um determinado sistema ao longo do tempo consistem na construção de *grafcets* (Figura 46 a)) e de diagramas de estados (Figura 46 b)). Os primeiros têm por objetivo descrever o comportamento do sistema de forma sequencial, enquanto os segundos têm por objetivo identificar os possíveis estados que um sistema pode ter.

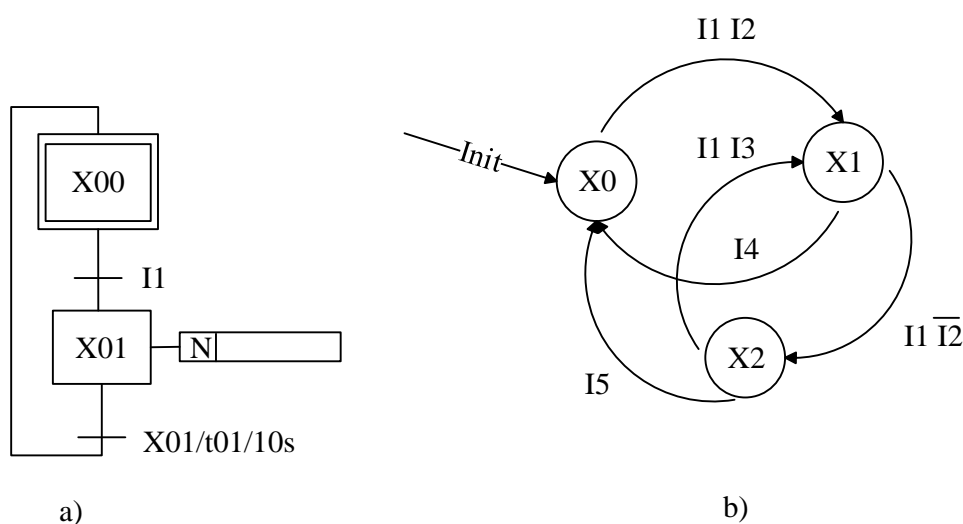


Figura 46 – Grafcet a) e diagrama de estados b)

Quando se constrói um diagrama de estados ou um *grafcet*, deve pensar-se sempre quais é que são os possíveis estados ou etapas que o sistema deve ou pode ter. É importante que na definição destes se prevejam todos os comportamentos que o sistema possa ter para que de certa forma esteja incutida a segurança para os equipamentos e principalmente para o operador e também ter garantia de que o processo decorre nas condições ideais.

Neste trabalho optou-se pela utilização de diagramas de estado para traduzir o comportamento dos quatro subprocessos que são executados a partir da estrutura do programa principal e consoante o modo de funcionamento que o utilizador escolhe.

O código para o autómato foi desenvolvido num ambiente de programação para autómatos da Omron o *Cx-programmer* com a versão 9.4. Este é o *software* que permite a comunicação entre um computador pessoal e o autómato onde os programas podem ser construídos com o recurso a várias linguagens de programação, nomeadamente os diagramas *Ladder* (diagramas de contactos), os *SFC* (*structured functional characters*), ou seja os *grafcets* (diagramas

funcionais) e o texto estruturado. Os diagramas *Ladder* e o *SFC* foram os que mais se usaram para o desenvolvimento do código. Este *software* é particularmente interessante, porque permite testar todo o código desenvolvido, podendo recorrer-se a uma visualização gráfica do estado lógico das variáveis utilizadas. Além disso quando em modo *on-line*, i.e. quando se está a comunicar com o autómato, este permite quatro modos de funcionamento: o modo *Run*, o modo de programação, o modo de monitorização e o modo *Debug*. Alterações ao programa podem ser feitas em modo *on-line* através do modo de programação, ou em modo *off-line* com a ressalva de, para que o autómato reconheça essas alterações deverá ter que ser feita a transferência do novo programa para o autómato.

Como exemplo dos programas desenvolvidos apresenta-se o comportamento de cada subprocesso com base no funcionamento em ciclo automático e modo manual (*setup* e teste).

### Modo automático

Na Figura 47 mostra-se parte da estrutura do programa principal referente a este modo.

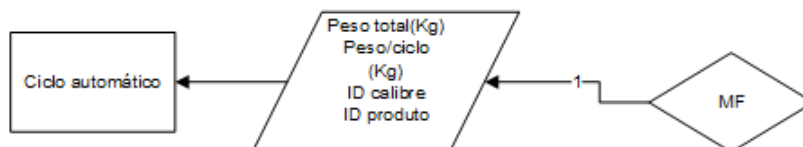


Figura 47 – Escolha do ciclo automático

A escolha deste modo também é ‘vista’ do lado do autómato e vem traduzido em linguagem *SFC*. Na Figura 48 mostra-se o código que é ‘corrido’ na seleção deste modo de funcionamento designado por ‘ma’. Este tem associado uma ação (*Action3*) no qual vem traduzido o comportamento do sistema em diagramas de contactos.

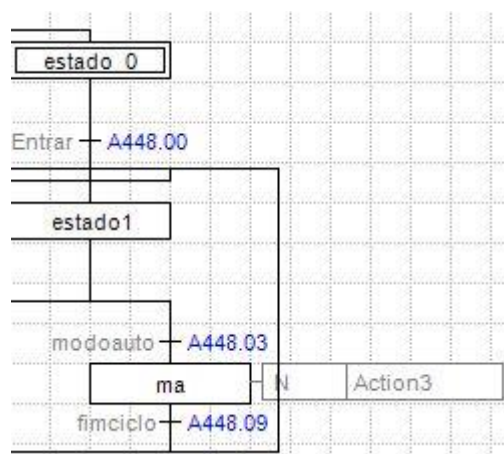


Figura 48 – Código seleção do modo automático

### Subprocesso 1 – Descongelamento:

O comportamento deste subprocesso em modo automático vem traduzido na Figura 49 para o qual foram definidos três possíveis estados: a descongelar, anomalias e paragem. Nesta figura aparece também o código que traduz este comportamento em diagrama *Ladder*.

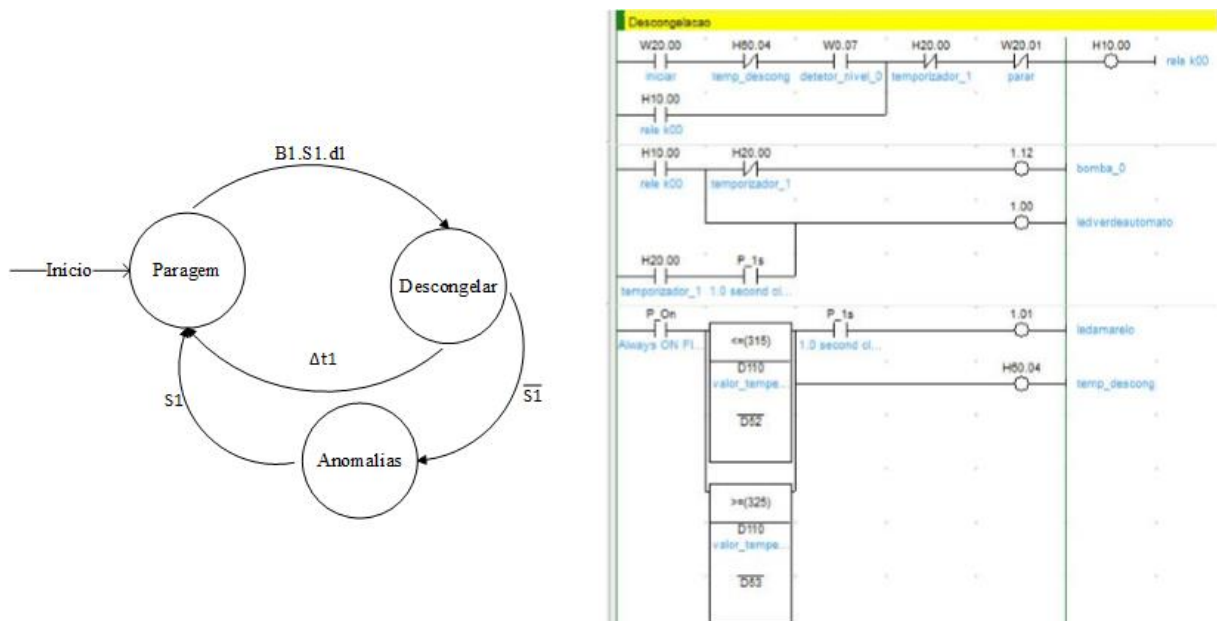


Figura 49 – Diagrama de estados e código do Subprocesso 1 – Descongelamento

No primeiro estado o sistema encontra-se completamente parado, mas tendo salvaguardado que o *setup* foi feito, sendo este o estado inicial. Este transita depois para o estado seguinte quando a temperatura (S1) e nível da água (d1) estiverem nos valores definidos e sendo ainda necessário que exista a mudança do valor lógico do botão B1 por ação do operador. A descongelar o sistema estará no seu decurso normal e poderá transitar para um estado de paragem após ter decorrido o tempo de estágio ( $\Delta t1$ ). Pode ainda transitar para um estado de anomalias que significa que por algum motivo a temperatura pode ter excedido os limites pré definidos. A saída deste estado é verificada quando o valor da temperatura dado por S1 voltar a estar dentro do intervalo de segurança.

### Subprocesso 2 – Cozedura:

Para este subprocesso foram definidos três estados quando está a ser executado em modo automático, nomeadamente o estado de paragem, a cozer e anomalias, tal como se observa na Figura 50 muito idêntico ao que se passa com a descongelamento.

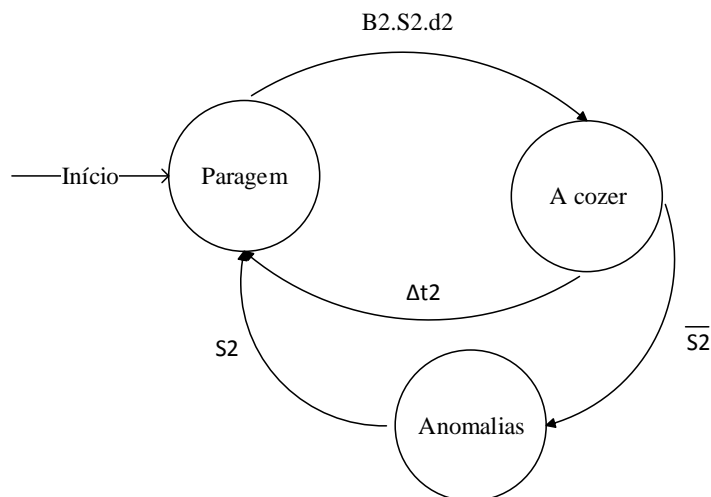


Figura 50 – Diagrama de estados do subprocesso 2 – Cozedura

Inicialmente este está parado e transita para o estado ‘A cozer’ caso o tanque tenha água (d2), a temperatura esteja dentro do intervalo admissível (S2) e o operador tenha carregado o tanque com produtos (B2) dando início à contagem do tempo de estágio ( $\Delta t_2$ ). Caso a temperatura desça para valores fora do intervalo admissível este passará para um estado anómalo. O código que traduz esse funcionamento é o que se mostra na Figura 51.

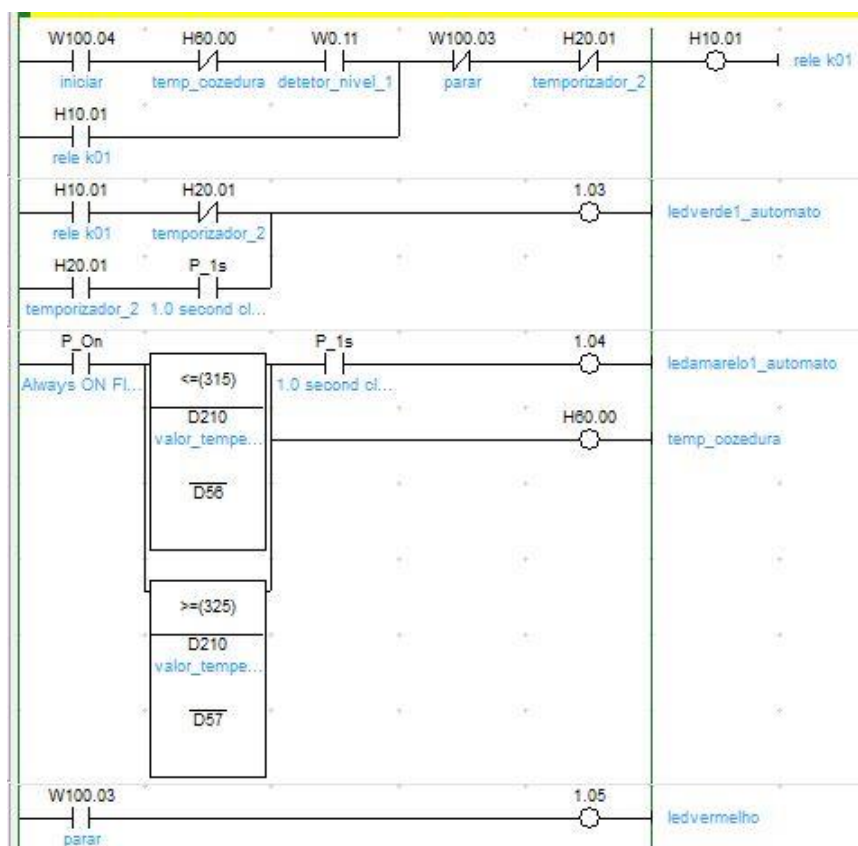


Figura 51 – Código para o subprocesso de cozedura em modo automático



### Subprocesso 3 – 1º Arrefecimento:

Para este subprocesso foram definidos três estados, nomeadamente o estado de paragem, a arrefecer e anomalias (Figura 52).

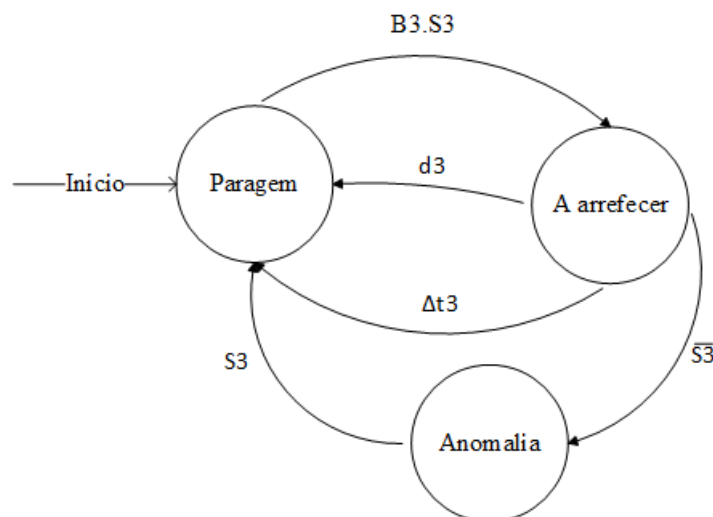


Figura 52 – Diagrama de estados 1º arrefecimento em modo automático

O modo de funcionamento é muito semelhante ao da descongelação, mas tendo em conta variáveis respetivas para a definição dos estados. O código desenvolvido para o PLC mostra-se na Figura 53 e tem algumas particularidades. Uma delas é a verificação da temperatura antes de se iniciar o processo. Esta parte é deveras importante porque como no modo de *setup* se vai enviar a água para arrefecer é necessário que a sua temperatura seja verificada antes de se colocarem os produtos sob arrefecimento. Poder-se-ia fazer isso de forma manual, verificando a indicação da temperatura da água no reservatório. Uma outra forma mais autónoma de se fazer isso será o utilizador na interface atuar um botão de verificação fazendo com que o sistema ligue a bomba b2 e coloque água até ao detetor d4 estar ativo e esperar que o sensor estabilize a sua leitura. A temperatura é dada como correta sempre que 'H10.03' (assinalado a verde) na Figura 53 esteja ativa. O endereço 'H10.01' (assinalado a preto) na Figura 53 identifica a anomalia sendo que o sistema não pára, tal como está descrito no diagrama de estados anterior.

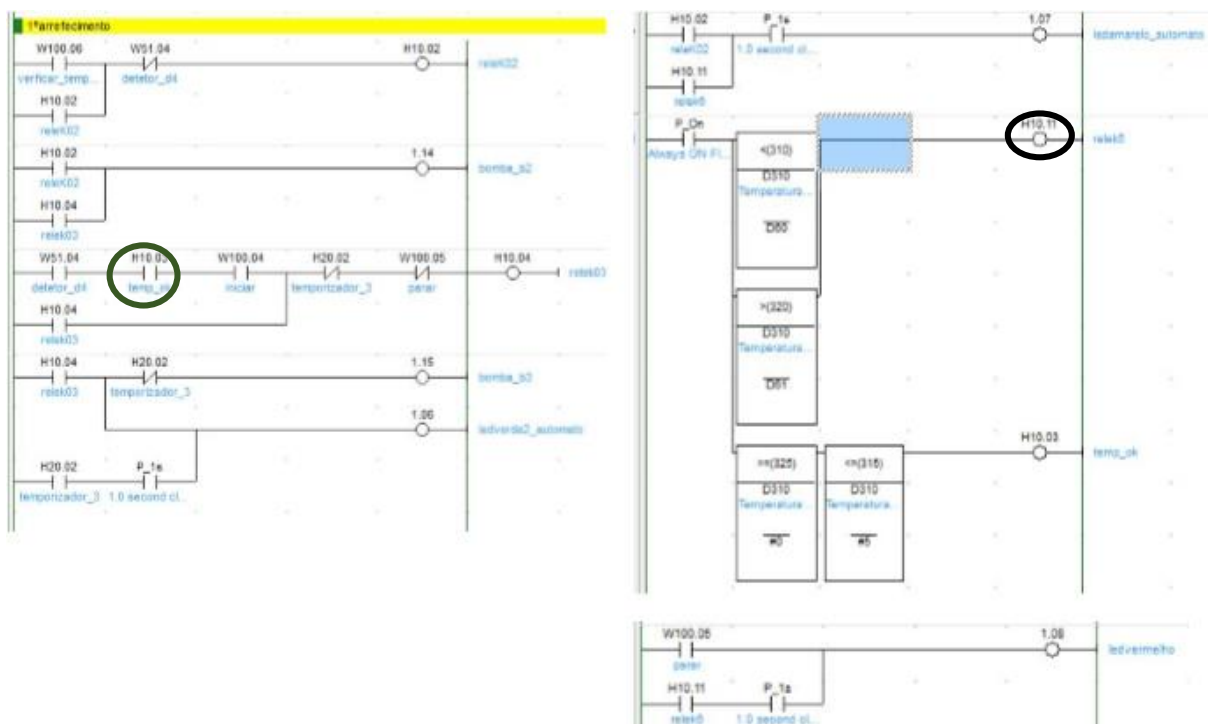


Figura 53 – Código para o 1ºarrefecimento em modo automático

#### Subprocesso 4 – 2º Arrefecimento:

O funcionamento deste é similar ao do 1º arrefecimento, tendo também três estados possíveis (Figura 54). Como elementos diferenciadores, há que ter em conta a verificação dos valores de pH e salinidade estão exequíveis para o processo. Contudo no desenvolvimento do código para PLC apenas essa verificação é feita no modo de *setup* e no modo do ciclo automático. Os valores de pH e de condutividade estarão sempre a ser monitorizados. Para a temperatura procedeu-se exatamente da mesma forma como para o 1º arrefecimento.

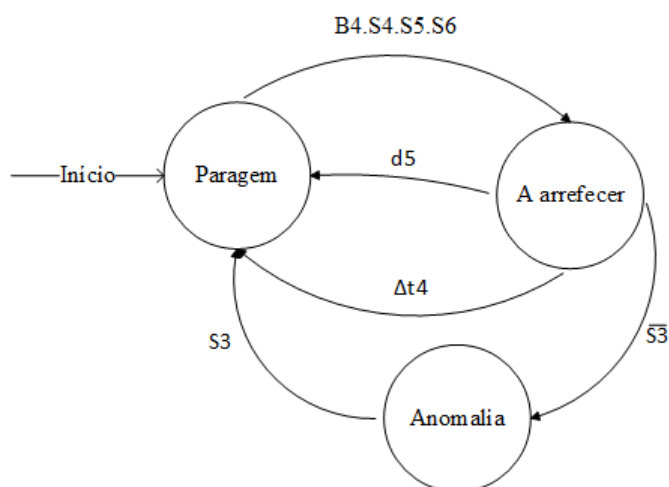


Figura 54 – Diagrama de estados 2º arrefecimento modo automático

### Modo manual – *setup*

Se o utilizador optar pelo modo manual (Figura 55) e escolher o modo *setup* o funcionamento associado a cada subprocesso é ligeiramente diferente quando comparado com o ciclo automático.

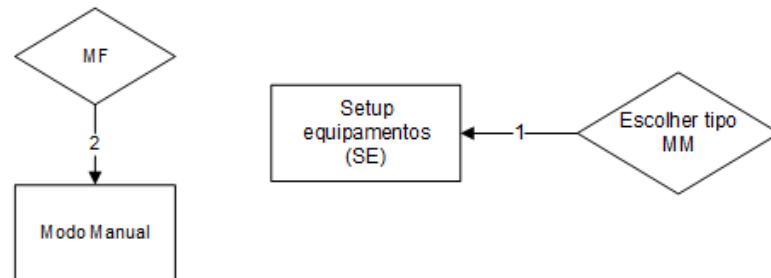


Figura 55 – Escolha modo manual

Na Figura 56 apresenta-se o código que é corrido no PLC para a seleção deste modo que é designado por ‘*setupmod*’.

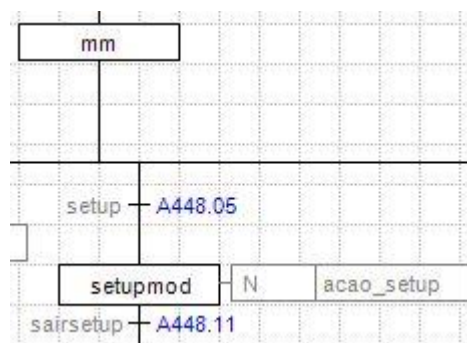


Figura 56 – Código para a escolha do modo setup

Apresenta-se de seguida o código que foi desenvolvido para traduzir o funcionamento em modo manual escolhendo o modo *setup* de equipamentos. Em geral neste modo todos os subprocessos têm em comum o estado de paragem, contudo diferente ao estado de paragem quando em modo automático, o estado de enchimento, o estado de esvaziamento e o estado de pausa. Os aspetos diferenciadores existem para a cozedura com a existência de um estado para o aquecimento e nos arrefecimentos têm ambos um estado para a circulação dos fluidos de arrefecimento.

Como se poderá observar, irão notar-se algumas diferenças em relação ao modo de funcionamento do diagrama de estados quando traduzido para linguagem *Ladder*. Isto acontece porque neste modo estabeleceu-se que o sistema deveria permitir um modo de limpeza, i.e. por exemplo quando se estiver no estado de enchimento poder-se-á estar também num estado de esvaziamento.

### Subprocesso 1 – Descongelação:

Na Figura 57 mostra-se o diagrama de estados para a descongelação quando está no modo de *setup* e na Figura 58 apresenta-se o respetivo código onde os endereços ‘W0.07’, ‘W0.03’ e ‘W0.02’ correspondem a d1, B6 e B7 no diagrama de estados respetivamente.

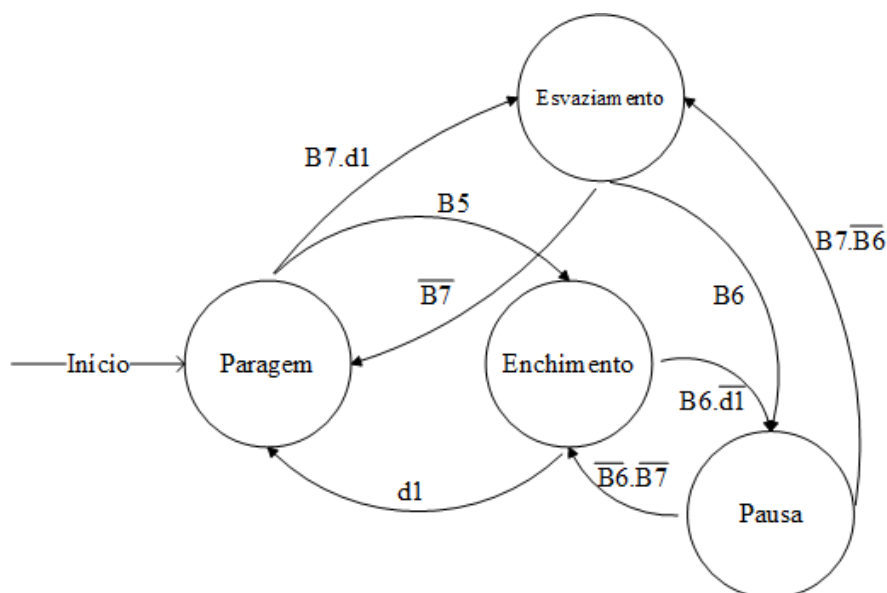


Figura 57 – Diagrama de estados descongelação em modo *setup*

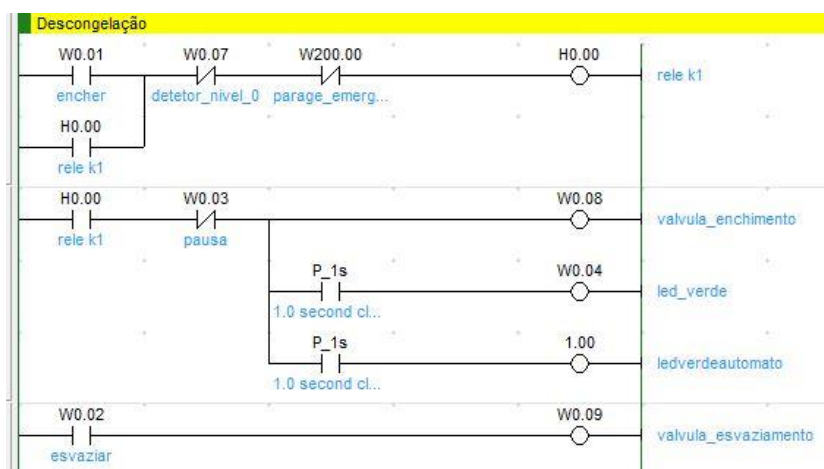


Figura 58 – Código para a descongelação em modo *setup*

### Subprocesso 2 – Cozedura:

A Figura 59 mostra o diagrama de estados adotado para a cozedura e na Figura 60 o respetivo código. Neste caso os endereços associam-se da seguinte forma: ‘W0.10’ a B8, ‘W0.11’ a d2, ‘W0.14’ a B9, ‘W0.15’ a B11, ‘W1.01’ a S2 (verificação da temperatura) e ‘W1.02’ a B10

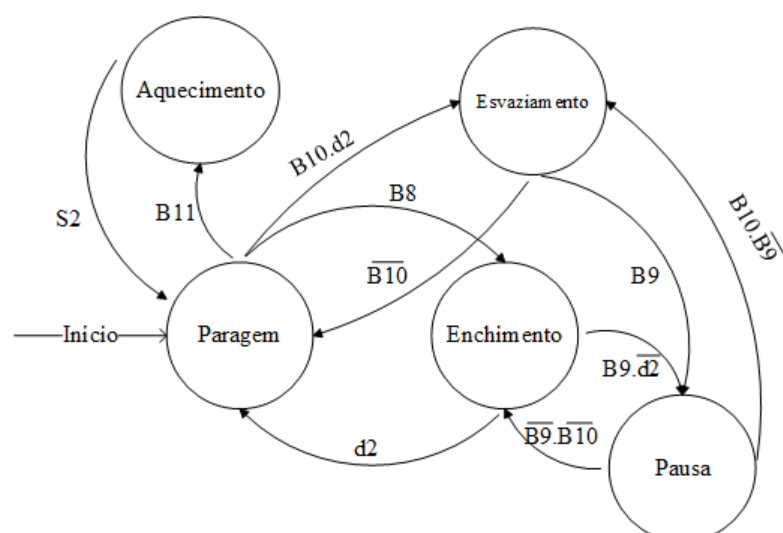


Figura 59 – Diagrama de estados para a Cozedura no modo *setup*

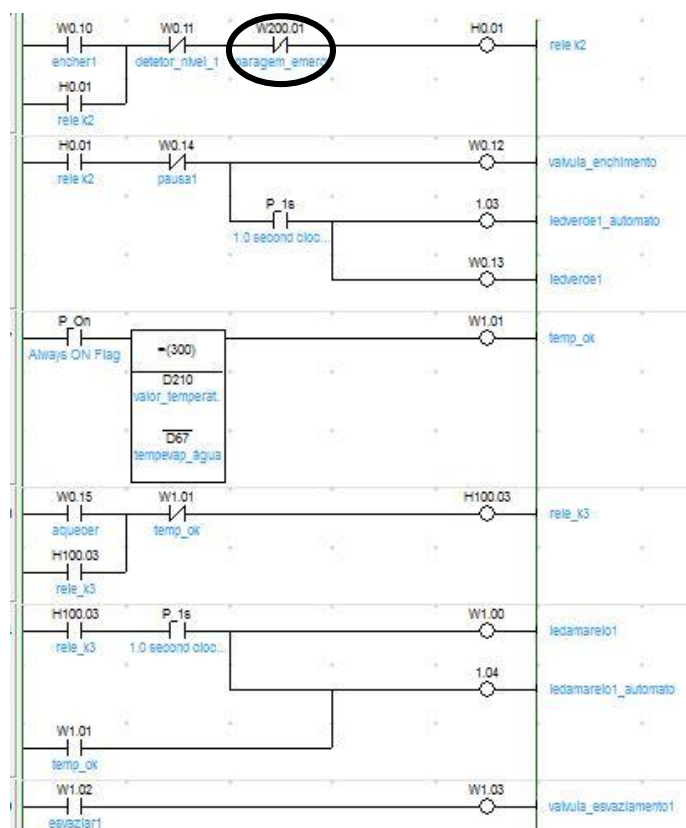


Figura 60 – Código para a Cozedura em modo *setup*

Como se pode observar pela Figura 60 existe a paragem de emergência (assinalada a preto) no caso de não funcionamento do detetor, que no diagrama de estados estaria também aplicado ao estado de enchimento.

### **Subprocesso 3 – 1º Arrefecimento:**

A Figura 61 mostra o diagrama de estados do 1º arrefecimento e a Figura 62 o código desenvolvido. Os respetivos endereços das Figura 61 e Figura 62 estão associados da seguinte

forma: 'W1.04' a B12, 'W1.06' a d3, 'W0.05' a B14, 'W1.08' a B15, 'W40.00' a d4, 'W1.07' a B13.

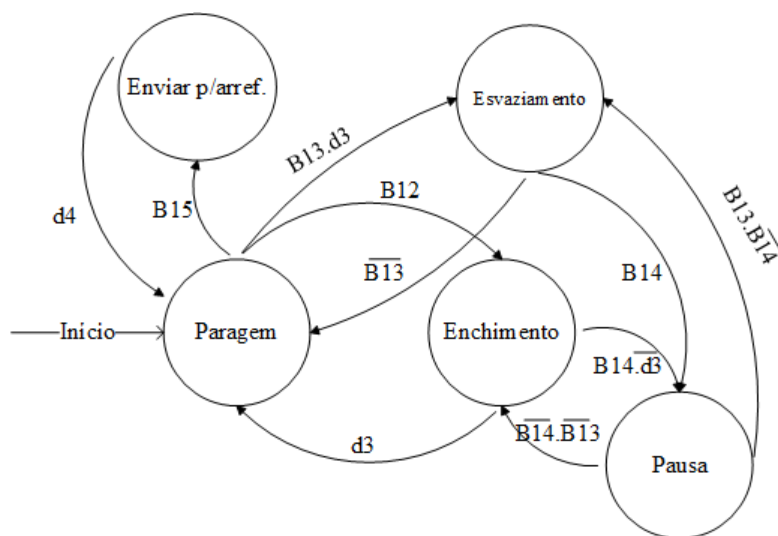


Figura 61 – Diagrama de estados do 1º arrefecimento em modo *setup*

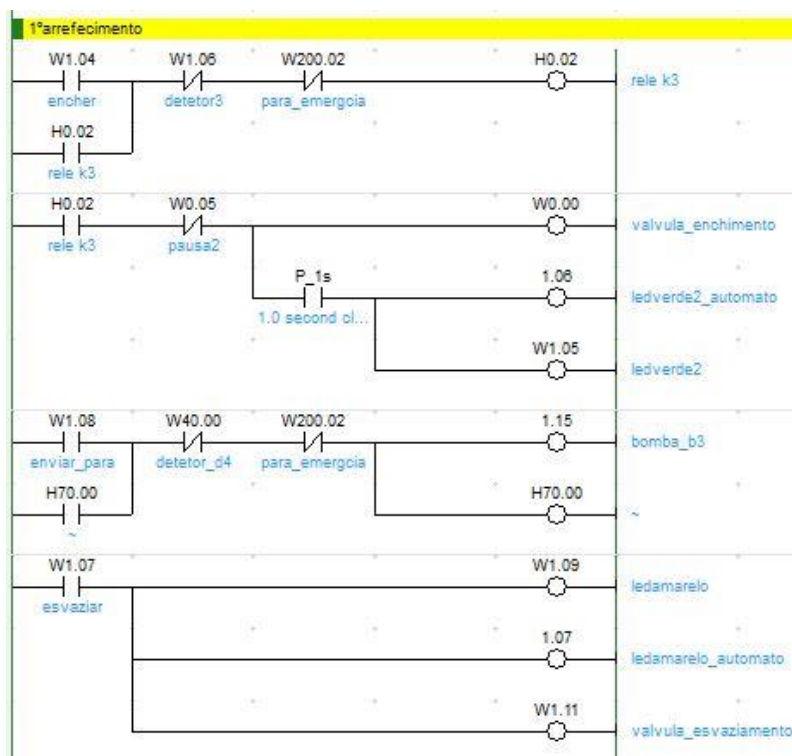


Figura 62 – Código 1º arrefecimento em modo *setup*

#### Subprocesso 4 – 2º Arrefecimento:

No subprocesso 4 é tudo idêntico ao subprocesso 3 com a diferença de que os valores de pH e salinidade precisam de estar em intervalos aceitáveis condicionando o envio da salmoura para arrefecimento, ou seja terá código adicional, para a verificação desses mesmos valores idêntico ao código de verificação que é feito para o valor de temperatura na cozedura.

### Modo manual – modo de teste

Por fim se o utilizador optar pelo modo de teste no PLC corre o código apresentado na Figura 63.

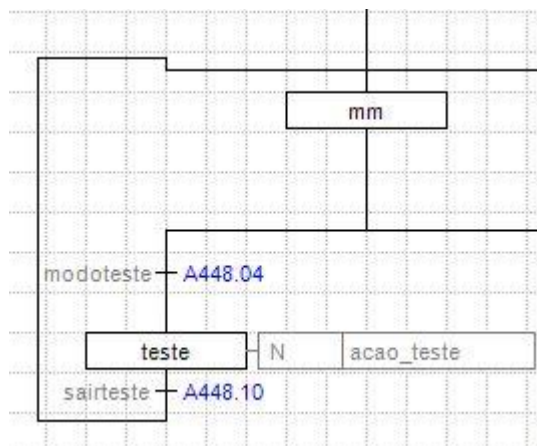


Figura 63 – Código para a escolha do modo de teste

Neste modo o código desenvolvido para a atuação dos elementos atuadores (bombas e eletroválvulas) foram linhas bastante simples de código e considerando que os botões de atuação são biestáveis. Esse código é idêntico para todos os subprocessos apresentando-se na Figura 64 o código para a descongelação.

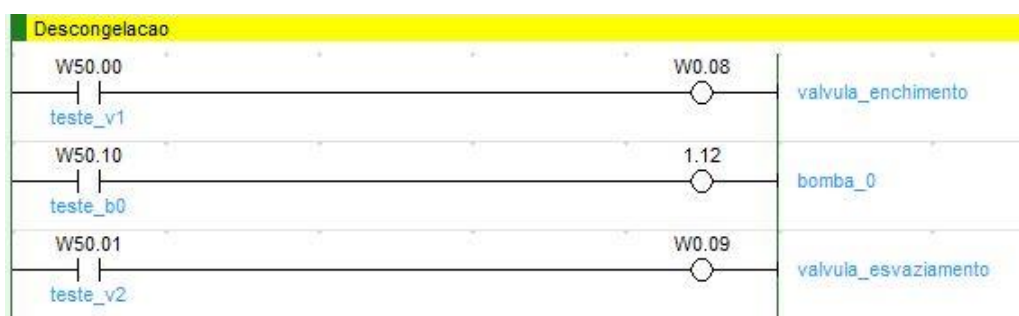


Figura 64 – Código para o modo de teste.

Como neste modo está disponível a visualização do estado dos sensores de temperatura, optou-se pela criação de um programa à parte para estes (Figura 65). Além disso a criação específica deste programa foi muito útil no desenvolvimento de todo o código atrás apresentado, evitando páginas muito extensivas de código. Também se optou por fazer a aquisição do sinal dos vários sensores assim que o sistema é ligado usando um contacto designado por ‘*Always\_on\_flag*’, estando assim todos os sensores a monitorizar continuamente o estado do sistema desde esse momento.

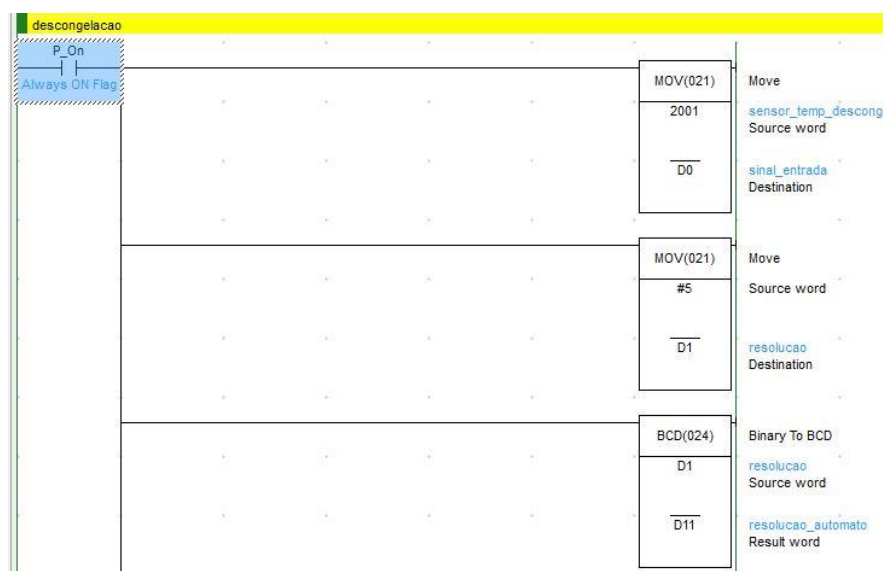


Figura 65 – Código para adquirir o sinal dos sensores de temperatura, pH e condutividade

A aquisição do sinal é feita para uma memória através da função ‘*MOV*’. No exemplo que se apresenta na Figura 65 a entrada do modo analógico que está a ser lida é a entrada 1 com o endereço 2001. O valor desse sinal é então guardado na memória D0 e assim este procedimento é repetido para os restantes subprocessos, onde as entradas 2 a 8 correspondem aos endereços 2002 a 2008.

Da mesma forma foram definidos os intervalos de valores admissíveis para as temperaturas e para os valores de pH e salinidade e condutividade. Esses valores foram igualmente guardados com a função ‘*MOV*’ em memórias que depois são utilizadas com funções comparativas do *Cx-programmer*. Faz-se também uma conversão desses valores recorrendo à função ‘*BCD*’ (armazenados em memórias) para posteriormente se compararem com os valores dos sinais dos respetivos sensores (Figura 66).

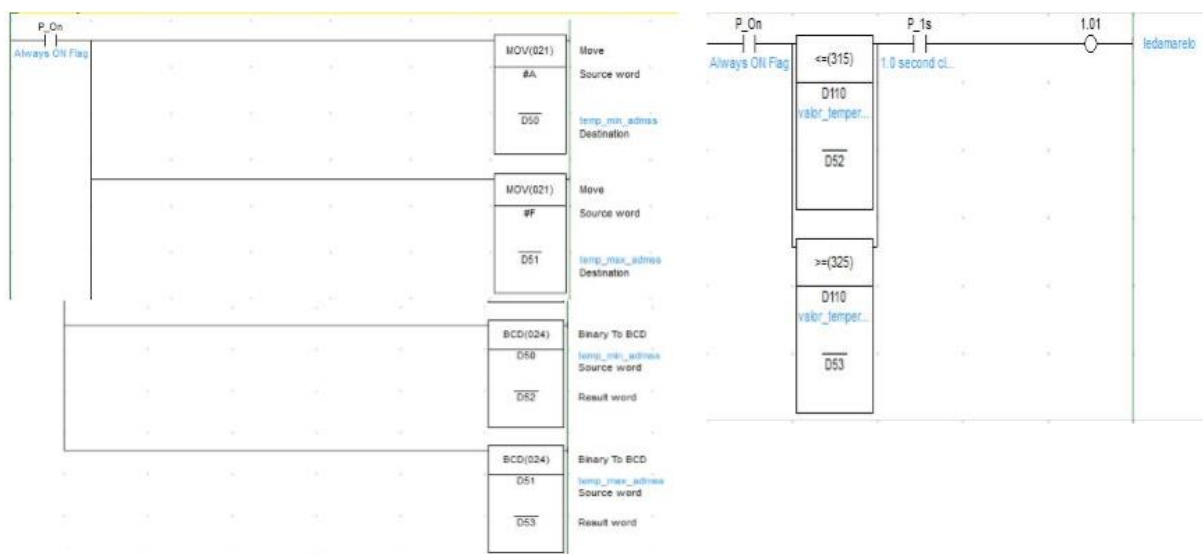


Figura 66 – Comparação do sinal do sensor com os valores dos limites admissíveis que foram definidos



Caso por exemplo o valor da temperatura lida pelo sensor não esteja dentro do intervalo o sinalizador ótico (LED amarelo) começará a piscar.

Os programas desenvolvidos para o PLC foram testados com base numa implementação protótipo, incluindo a simulação da interface com o utilizador.

#### 5.4. IMPLEMENTAÇÃO E TESTE DE UMA SOLUÇÃO PROTÓTIPO

A implementação de uma solução protótipo teve o objetivo de recriar o que poderia ser o comportamento do processo e a interação com o utilizador final para de certa forma viabilizar a funcionalidade de todos os programas desenvolvidos.

Esta solução protótipo engloba uma pequena parte de montagem usando equipamentos disponíveis e engloba a construção/modelação de interface gráfica com o utilizador em *Labview*, a partir do qual se simulou a interação do utilizador com o sistema. Começando pela parte de desenvolvimento da interface gráfica, o *Labview* é um *software* bastante usado para muitas aplicações industriais e comerciais. Este tem um ambiente de programação intuitivo apresentando uma janela para a criação de elementos gráficos, *Front panel*. (Figura 67) e uma janela para a modelação de qualquer programa em diagrama de blocos, *Block diagram*, Figura 67. Todos os elementos gráficos que se criem no *Front panel* estão disponíveis e prontos a ser utilizados sempre que necessário no painel *Block diagram*.

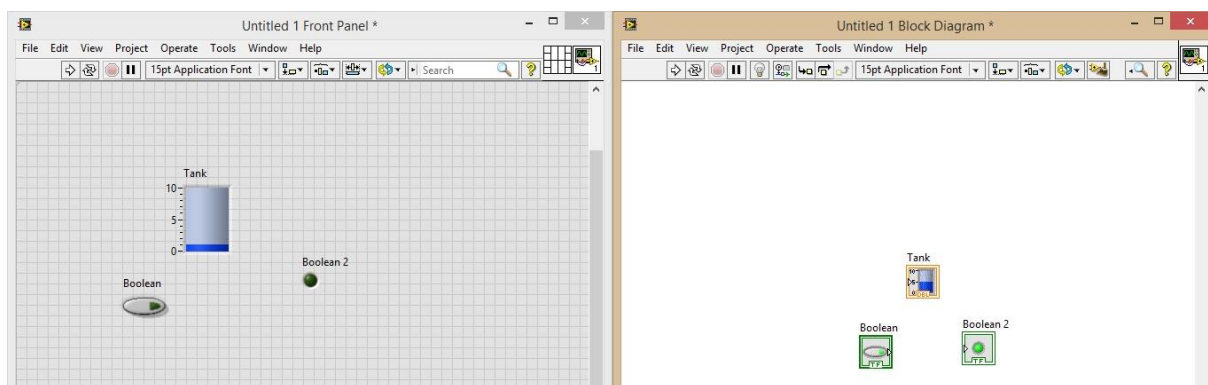


Figura 67 – Ambiente de programação do *Labview* 2013

Desenvolveram-se assim as várias interfaces com o utilizador respeitando a estrutura do programa principal (Figura 41, pág.49). Inicialmente o utilizador quando iniciar a aplicação será deparado com uma janela inicial num ecrã tátil (Figura 68).

## NORTESEA



Figura 68 – Interface do painel inicial

Se este carregar em 'Entrar' terá acesso ao menu principal (Figura 69). Carregando em 'Sair da aplicação' fará com que esta feche de imediato.

No menu principal o utilizador pode escolher os três modos possíveis de funcionamento atuando num dos três botões (Novo Produto, Modo Manual, Ciclo Automático). Se carregar no botão 'Início' este voltará para a janela inicial (Figura 68).



Figura 69 – Interface do menu principal

Atuando o botão 'Novo Produto' ficará disponível uma janela (Figura 70) onde terá que preencher vários campos que dizem respeito a temperaturas e tempos para um determinado

produto. Sempre que se queira inserir um novo produto basta carregar no botão ‘Inserir’. Carregando em ‘Sair’ o programa regressará ao menu principal.

**Processamento de Camarão Pré-Cozido**

\* Preencher todos os campos obrigatoriamente

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Secção de Automação e Controlo

16:29:36  
03-10-2014

Figura 70 – Interface para a inserção de novos produtos

Se se carregar em ‘Modo Manual’ (Figura 69) o utilizador terá disponível uma janela com um menu de escolha, onde pode optar pela escolha do ‘Modo Teste’ e ‘Setup linha’ (Figura 71). Se este quiser regressar ao menu principal (Figura 69) basta carregar em ‘Voltar’.

**Processamento de Camarão Pré-Cozido**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Secção de Automação e Controlo

16:06:19  
03/10/2014

Figura 71 – Interface do painel do menu do modo manual

Ainda nesta janela existirá um botão ‘Help’ que quando atuado fará aparecer uma janela *pop-up* (Figura 72) que contém uma breve explicação do que pode fazer a partir deste menu. Para fechar esta janela basta carregar em ‘OK’.

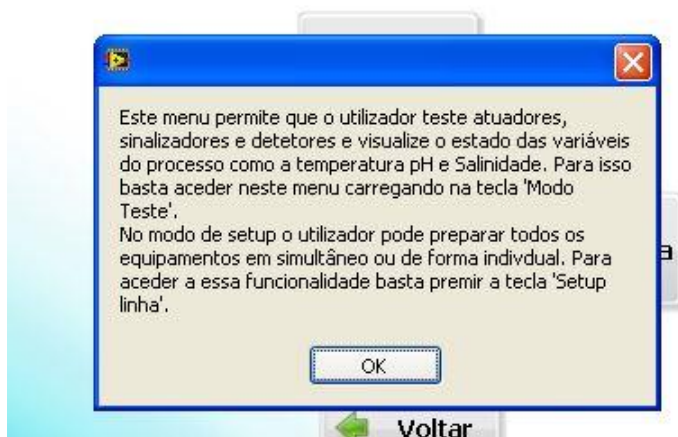


Figura 72 – Interface da janela *pop-up* do *help* do menu do modo manual

Carregando em ‘modo de teste’ (Figura 71, Pág.69) aparecerá ao dispor do utilizador uma janela (Figura 73) em que terá acesso a todos os atuadores podendo acioná-los, bastando carregar no atuador que quiser testar. Tem também a possibilidade de visualizar o estado dos sensores do processo e dos detetores. Caso pretenda sair basta carregar em ‘Sair’ e regressará ao menu do modo manual (Figura 71, Pág.69).

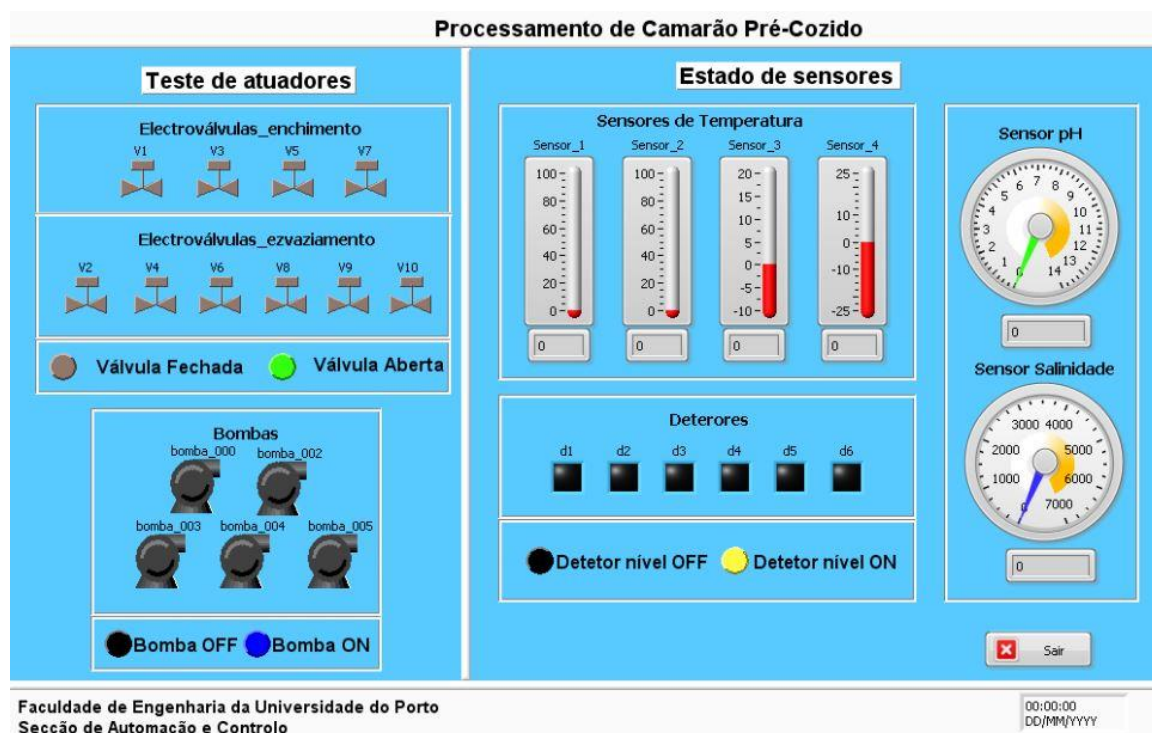


Figura 73 – Interface do modo de visualização e teste

Quando escolhido o modo de setup carregando em ‘Setup linha’(Figura 71, Pág. 69) ficará ao dispor do utilizador uma janela onde é possível entrar em interação imediata com todo o sistema (Figura 74). Nesta terá a indicação da temperatura para todos os subprocessos, do pH e salinidade para o subprocesso 4. Verá os tanques a encher e a esvaziar virtualmente sincronizados com o estado do processo. Para sair desta janela basta carregar em ‘Sair’. É também a partir desta interface que o utilizador pode efetuar a limpeza dos equipamentos.

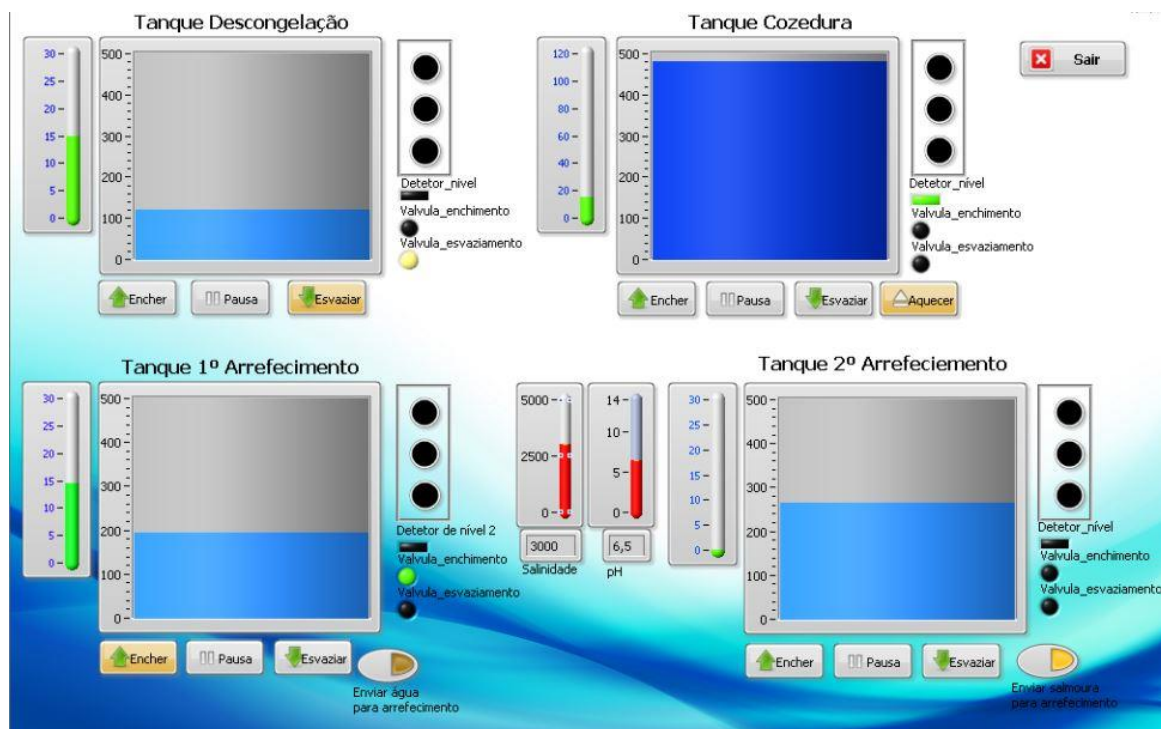


Figura 74 – Interface do *setup*/limpeza de equipamentos

Para esta interface desenvolveu-se um pequeno programa para a representação virtual de enchimento e esvaziamento dos tanques como o que é mostrado na Figura 75.

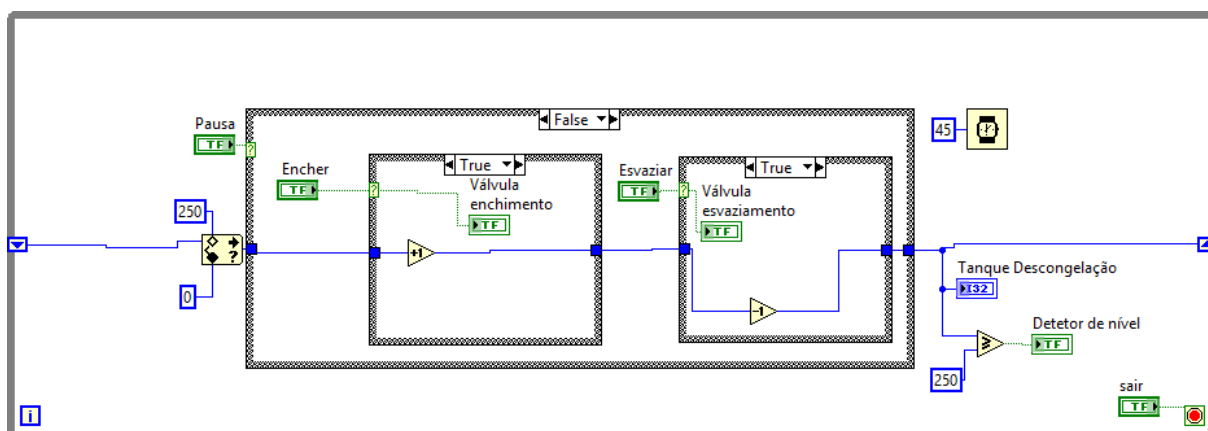


Figura 75 – Programa para o enchimento e esvaziamento virtual dos tanques



Quando o utilizador carrega no botão ‘Ciclo automático’ da interface da Figura 69 terá disponível a janela que se apresenta na Figura 76.

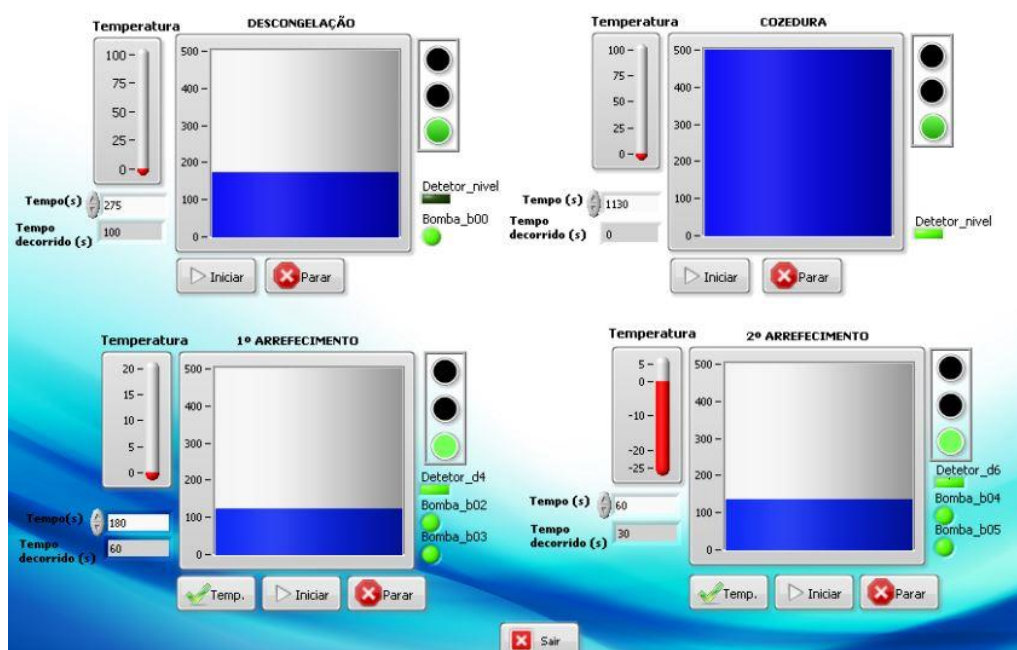


Figura 76 – Interface do ciclo automático

Antes de iniciar o processo o utilizador tem de introduzir a informação solicitada preenchendo os respetivos campos (Figura 77). Com essa informação o sistema determina o número de ciclos que devem ser realizados bem como a estimativa do tempo de execução. Neste modo o utilizador poderá visualizar e atuar sobre o tempo de estágio (i.e. ajustá-lo) para os valores adequados sempre que as condições do processo o exijam. Terá também conhecimento dos respetivos valores de temperatura. Ressalva-se que neste modo o programa não deixará executar nenhuma ação se o *setup* não for feito.

**\*Campos de preenchimento obrigatório:**

*Peso total de produtos (Kg)	36	Numero de ciclos a realizar	6,00000
*Peso/ciclo (Kg)	6	Tempo estimado para Processamento (minutos)	60
*Tempo p/ciclo (minutos)	10		

Figura 77 – Determinação do número de ciclos e tempo estimado

O código que suporta esta parte da interface da Figura 77 do ciclo automático é apresentado na Figura 78.

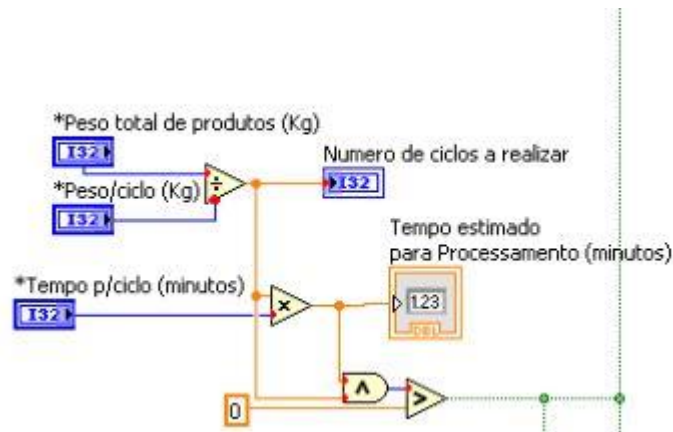


Figura 78 – Código cálculo do número de ciclos e do tempo estimado

Os temporizadores que estão identificados na interface do ciclo automático podem ser ajustados para qualquer valor. Para isso criou-se um pequeno programa utilizando a função *elapsed time* (Figura 79). Com este programa consegue-se ajustar o tempo atuando, neste exemplo, sobre o ‘Tempo descongelação’.

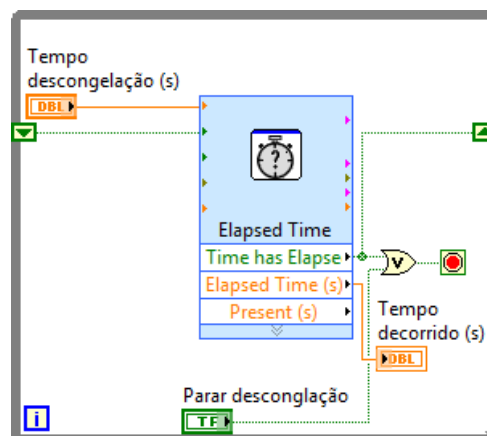


Figura 79 – Programa para o ajuste de tempo

Para sair deste modo basta carregar em ‘Sair’ e voltar-se-á para o menu principal (Figura 69, Pág. 68). Todo este desenvolvimento para a interface gráfica terá de ser reajustado para a HMI escolhida, bem como o código adaptado ao *software* de desenvolvimento desta.

Passando agora à parte da montagem do *hardware* que se tinha disponível, utilizou-se o controlador lógico programável (PLC), modular, modelo CJ2M – CPU32 da Omron, já com um módulo de entradas analógicas (AD041-V1), um módulo de saídas analógicas (DA041), um módulo de entradas digitais (ID211) e um módulo de saídas digitais (OC211) e a fonte de alimentação (PA202).

Utilizou-se um potenciômetro para a simulação e variação do sinal dos sensores de temperatura. Este tem uma resistência de 1K e para se poder ligar ao módulo de entradas analógicas do PLC teve que se montar um pequeno circuito com uma resistência de 2,2K em série com este, como se mostra no esquema da Figura 80. A utilização deste circuito tem a ver com o facto da tensão máxima que o módulo de entradas analógicas admite, ser de  $\pm 10V$  e deste modo limitarmos a 7,5V a tensão máxima no módulo de entrada.

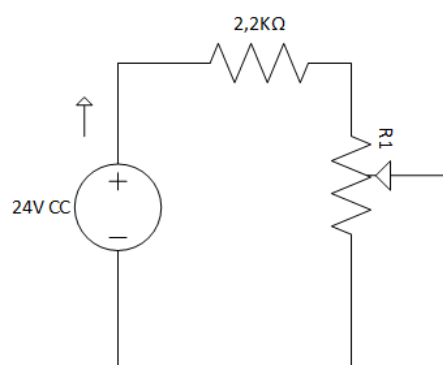


Figura 80 – Esquema do circuito elétrico do potenciômetro

Na Figura 81 mostra-se a montagem feita para a aplicação, já ligada ao módulo de entradas analógicas.

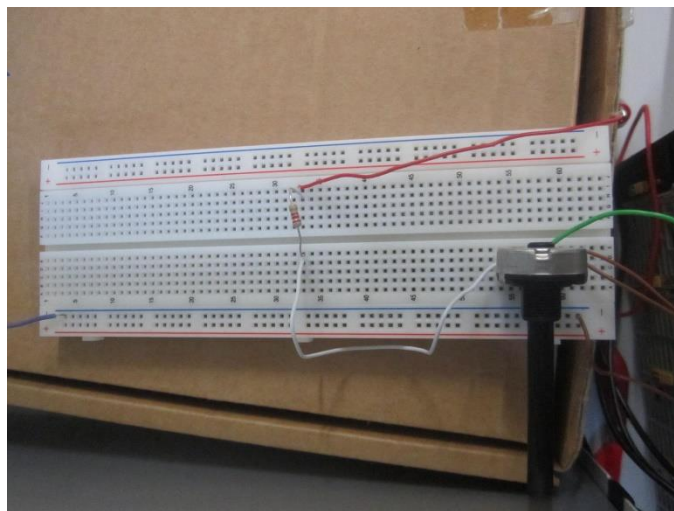


Figura 81 – Montagem do potenciômetro e ligações

PLC segundo a configuração de ligação apresentada no manual de utilizador para módulos de entradas analógicas da Omron, como se pode observar na Figura 82 um dos cabos castanhos liga a A2 e o cabo verde liga a A1, estando a usar a entrada 1 deste módulo.



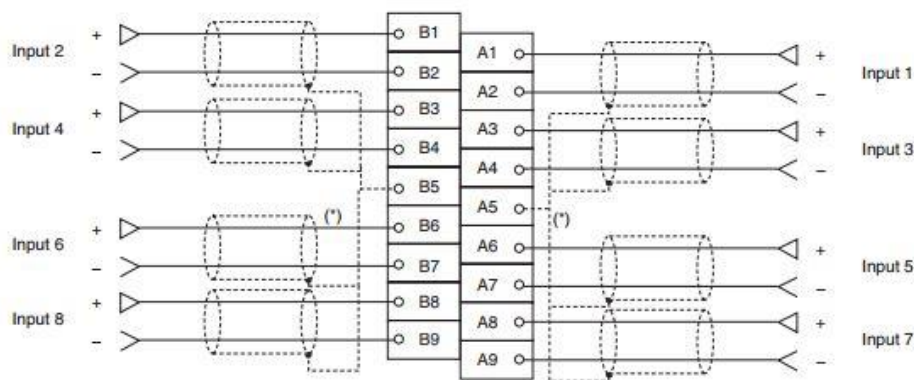


Figura 82 – Esquema de ligação de dispositivos analógicos ao módulo

Salienta-se que este esquema está feito para o modelo de 8 entradas analógicas e o que se tem disponível é só de 4 entradas.

Antecipadamente à realização desta ligação deve assegurar-se de que a entrada que se vai usar do módulo, está configurada para receber um sinal em tensão e para isso é necessário verificar se o botão correspondente à entrada está no estado ON ou OFF como se mostra na Figura 83.

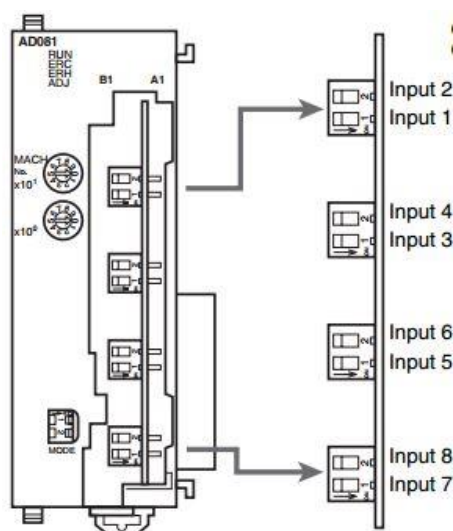


Figura 83 – Configuração do módulo para receber sinal em tensão ou corrente

Mais uma vez se chama a atenção para o facto de se estar a utilizar o módulo com 4 entradas e não com 8 como se observa na figura acima. A configuração é feita mudando a posição do botão da correspondente entrada. Se se pretende que a entrada receba um sinal em tensão o botão deve estar em OFF caso se queira em corrente este deve ser comutado para ON.

Do ponto de vista da programação do PLC, o valor que está na entrada analógica é lido em hexadecimal. É necessário como se viu na secção 5.2 converter estes valores utilizando a função 'BCD'. Depois de convertidos podem ser usados para a simulação de temperatura. Para se simular esta variação de temperatura, recorreu-se à função *scaling* do *Cx-programmer*. Esta função permite a conversão dos valores em tensão para valores de temperatura através de uma aproximação linear definindo-se para isso dois pontos (A e B), como vem ilustrado na Figura

84 retirada do *help* desta função. Os valores dos pontos A e B são guardados em memórias consecutivas para P, P1+1, P1+2 e P1+3.

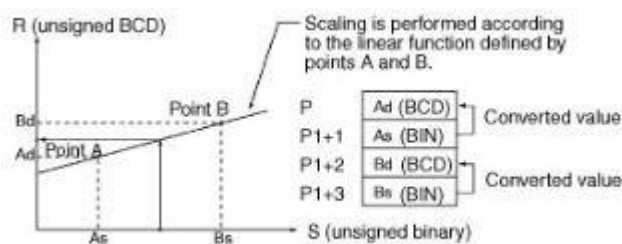


Figura 84 – Função *scaling* em aproximação por função linear

Assim quando se roda o potenciômetro para a direita ou para a esquerda pode verificar-se uma variação positiva ou negativa dos valores de temperatura. Em alternativa poder-se-ia escolher um módulo de entradas analógicas específico para RTD's, no entanto estes são mais caros e seria sempre necessário um módulo de entradas analógicas para receber os sinais do controlador SC200, que contém os sensores de pH e salinidade.

Na conceção deste protótipo fez-se ainda a interação entre o autómato e o *Labview*. Para que isso fosse possível utilizou-se uma forma bastante conhecida para essa comunicação utilizando o *software* OPC server. Este tipo de sincronização é típica quando se pretende usar o *Labview* como interface de um sistema controlado por autómatos. Este tipo de comunicação permite ligações usando o protocolo *FINS Ethernet* adotada para este trabalho recorrendo-se a um cabo *Ethernet* (Figura 85) para a comunicação *cross over* entre o autómato e o PC com o *Labview*.



Figura 85 – Cabo de comunicação Ethernet

Os dois *softwares* que vão comunicar são o *Labview* e o *Cx-programmer*. No *software* de comunicação são definidas as *Tags*, i.e. são criados todos os endereços que o software suporta e os que o autómato tem disponível para este tipo de aplicação. Recordando as figuras da secção 5.3 todos os endereços que vêm precedidos com a letra 'W e H' são endereços que são conhecidos pelo autómato e pelo *Labview*. O recurso a este *software* permite que um sistema que use muitas botoneiras não precise de ter um módulo específico para estas, ou seja substitui-se o físico pelo virtual.

São todos estes os elementos que compõem a solução protótipo. Esta demonstrou as potencialidades que este tipo de controlador lógico (PLC) tem para lidar com entradas

analógicas e a capacidade de integração que se pode conseguir quando se usa um *software* como o *Labview*.

## 5.5. PROPOSTA FINAL

Nesta última fase do trabalho faz-se uma síntese da solução escolhida para a linha de processamento de camarão, na qual esta resultante da informação disponibilizada pela empresa, do estudo de algumas soluções de mercado e das funcionalidades e objetivos definidos.

É uma solução que poderá sofrer alterações no futuro, porque sendo a implementação do sistema de monitorização feita de raiz é necessário testá-la e optimizá-la para os parâmetros ideais do processo.

Sendo um dos principais problemas no processamento de camarão o controlo dos gradientes de temperatura presentes no sistema, optou-se pela monitorização constante da temperatura no decorrer do processo onde serão utilizados quatro sensores de temperatura Pt100, com transmissores de sinal, inseridos num ponto dos tanques.

O controlo da temperatura ao longo das várias fases do processo continuará a ser manual como alternativa a ter sistemas de controlo automático desta variável. Esta hipótese poderá vir a ser estudada futuramente.

Para além da temperatura, a monitorização dos valores de pH e de salinidade será efetuada para o subprocesso 4 (2º arrefecimento). Estes valores serão também conhecidos durante a preparação da salmoura. Estes sensores estarão fixos num ponto estratégico do tanque.

Em relação à técnica que a Nortesea vai usar no processamento de camarão ao invés do que vinha a realizar, que era por imersão, vai passar a ser por chuveiro. A técnica por projeção de chuveiro requer que haja um determinado fluxo de água constante a passar pelo produto durante um tempo de estágio bem definido e isso consegue-se facilmente com o recurso a bombas de caudal variável para a circulação do fluído.

No caso de todos os subprocessos serem feitos por chuveiro serão necessárias um total de 6 bombas sendo essas adequadas ao tipo de indústria. Se for projetado um sistema de arrefecimento em detrimento das fontes frias serão precisas somente 4 destas seis bombas, tendo em consideração que é dimensionado um sistema de arrefecimento para cada uma das fases de arrefecimento, isto porque são usados dois fluídos diferentes.

Nesta fase o uso de duas bombas para o 1º arrefecimento resulta do facto de não se optar por usar gelo mas sim enviar água para uma fonte fria. Daqui resulta que uma bomba envia o fluido para arrefecer e outra envia-o para a projeção de chuveiro. O mesmo se passa com o segundo arrefecimento, mas a fonte fria estará a uma temperatura muito baixa na ordem dos -22°C.

No processo de enchimento e esvaziamento dos tanques serão usadas electroválvulas. As de enchimento estão condicionadas pelo diâmetro da tubagem da rede já montada na empresa e para as de esvaziamento como existe alguma liberdade optou-se por um diâmetro maior.

Optou-se pela sinalização individual de cada subprocesso com torres luminosas de três níveis para tornar mais fácil a identificação de qualquer situação anómala e manter o operador devidamente informado sobre o estado no do processo no decorrer do tempo.

Para controlar o sistema usar-se-á um controlador lógico programável modular com um módulo de entradas digitais, dois módulos de saídas digitais e um módulo analógico de oito entradas. Para fazer a interface do sistema com o utilizador optou-se pela escolha de uma HMI de 7". Toda a estrutura definida para o programa será mantida mas terá de se reajustar o código do PLC e programar toda a interface da HMI, pois o *software* que esta usa não é o *Labview*. A comunicação entre estes será feita via RS232 (Figura 86).



Figura 86 – Cabo RS232-9 pinos

A escolha deste tipo de solução é bastante prática, no sentido de ser facilmente acessível e de fácil programação. Pode-se comunicar facilmente com o PLC tendo a possibilidade de se criar um programa num computador externo em modo *off-line* descarregando-o via USB ou Ethernet para a CPU do PLC e poder monitorizar-se o comportamento do sistema de controlo em tempo real.

Neste seguimento na Tabela 18 apresenta-se a lista dos equipamentos do sistema de automação, que contemplarão a conceção da solução nesta fase inicial, com o seu valor aproximado.

Tabela 18 – Proposta final dos equipamentos necessários

Proposta Final – Equipamentos necessários		
Designação	Quantidade	Preço/ unidade (€)
Sensores de Temperatura c/ transmissor	4	187
Controlador SC200	1	1000
Sensor pH	1	600
Sensor condutividade	1	700
Detetores/Interruptores de nível	6	133
Torres Luminosas de 3 níveis	4	70,86
Bombas	6	1700
Eletroválvulas Enchimento	4	55
Eletroválvulas Esvaziamento	6	55

Controlador lógico programável (incluídos: 1 modulo de entradas digitais+2 módulos de saídas digitais + fonte alimentação+ CPU+1 módulo de entradas analógicas)	-	2837,9
HMI de 7"	1	700
<b>Total estimado</b>		18417,44 €



## 6. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas todas as conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento de todo este trabalho e enunciadas algumas propostas para trabalhos futuros no sentido de melhorar ou alterar a solução proposta.

### 6.1. CONCLUSÕES FINAIS

Na realização deste trabalho apesar de não se efetuar um teste à escala real da solução proposta retiraram-se algumas conclusões bastante interessantes do ponto de vista da automação quando aplicada à indústria do setor agroalimentar.

A transformação de pescado em Portugal é uma área de interesse económico não desprezável, particularmente quando são crustáceos (i.e. camarão) a serem o alvo preferencial dos investidores devido ao seu valor acrescido no mercado nacional. Ter em conta que toda e qualquer indústria deste setor deve respeitar para além das normas gerais, todas as normas específicas que lhes estão associadas. Isto porque destinando-se os produtos ao consumo público têm que dar garantias do seu estado de qualidade no início e no fim do seu processamento.

Neste trabalho a identificação e caracterização das variáveis e do processo em estudo foi fundamental para a proposta de automação, permitindo que a escolha de todo o *hardware* fosse feita de forma adequada ao pretendido.

O recurso aos diagramas de Gantt e diagramas de estados permitiram perceber qual a disponibilidade dos recursos e do (s) operador (s) durante o decorrer do processo e permitiu ainda saber como se comportavam todos os subprocessos ao longo do tempo. Só assim foi possível idealizar toda a estruturação de um programa, no qual estão presentes as funcionalidades pretendidas.

A utilização do *Labview* para a construção da interface gráfica com o utilizador da solução protótipo revelou-se bastante útil, pois todos os botões de interação com o processo podem ser virtuais tal como numa HMI, dispensando assim o uso excessivo de módulos de entradas digitais do PLC.

Este mesmo *software* abre portas para outro tipo de soluções, por exemplo integrar um computador ou *tablet* em vez da HMI escolhida, o que podem facilmente ser opções para o presente, não necessitando de se adquirir a licença do *Labview* mas sim a sua licença *Run-Time* juntamente com o software *OPC server* da mesma versão na qual a aplicação foi desenvolvida. Verificou-se que para o tipo de comunicação utilizada a resposta demora a ser recebida pela aplicação em *Labview* que pode estar relacionada com o modo de configuração no *software OPC*. Isso verificou-se quando se tinha um led a piscar com um *delay* de 1 segundo.

A escolha de um controlador lógico programável modular integrado com uma HMI revelou-se uma solução bastante interessante para este tipo de aplicação e de indústria. Demonstrou que com apenas módulos de entradas analógicas pode-se facilmente adquirir os sinais dos sensores

de temperatura sem ser necessário recorrer a módulos específicos (i.e. módulos analógicos para RTD's). Por ser facilmente expandido e programado, num futuro próximo esta característica pode ser uma mais-valia para a empresa.

A solução protótipo veio demonstrar as potencialidades que o controlador lógico tem quando integrado com outro tipo de *software* e a capacidade de receber informação de sinais analógicos e a disponibilização da mesma para o utilizador.

Antes de se implementar uma solução a realização de testes de *software* não é suficiente para viabilizar a funcionalidade do sistema e do programa desenvolvido, devido a algumas considerações (ex. simulação da variação do sinal de temperatura com um potenciómetro) em que o sinal foi tratado em tensão e não em corrente como o que se propôs para a solução.

Automatizar hoje em dia torna-se fundamental para a imagem de uma empresa quer produza em larga ou pequena escala e queira ter maior domínio sobre o processo e o pretenda ter mais controlado e homogéneo tornando-o diferenciado de todos os outros, vendo consequentemente a sua qualidade reconhecida pelos clientes.

## 6.2. TRABALHOS FUTUROS

Como toda a solução apresentada foi pensada para receber novas expansões quer da incorporação de novas linhas de processamento ou até mesmo da elevação do nível de automação desta, deixa-se aqui em aberto a possibilidade de se dar continuidade a este trabalho, tomando como ponto de partida estas ou outras sugestões que se enquadrem nesta aplicação.

Como se constata ao longo deste trabalho ouve um 'esquecimento' no que diz respeito á forma de como a variável temperatura poderia ser controlada de forma mais autónoma em todos os subprocessos. Torna-se importante o estudo para encontrar soluções de controlo desta variável olhando também para possíveis alternativas de aquecimento e arrefecimento da água do processo.

Igualmente interessante seria a monitorização de toda a unidade de produção desde a entrada da matéria-prima até à sua saída, integrada com um sistema SCADA sendo que podia ser incorporada na solução atual.

Um outro aspeto seria fazer um estudo sobre o modo de comunicação e a forma como se adquire o sinal dos vários sensores no controlador lógico programável, encontrando novas formas inovadoras de comunicação, como por exemplo a comunicação *wireless* ou sem fios.

Como o *Labview* veio abrir novas portas, poder-se-ia pensar numa série de aplicações como por exemplo o acesso e comunicação total por parte do responsável da empresa em tempo real com a linha de processamento de camarão onde quer que este esteja, ou até mesmo a partir do seu *iphone* ou *tablet* ter controlo total sobre o processo.

Dentro desta gama de trabalhos enuncia-se por último a comunicação entre a loja de venda ao público, situada também em Matosinhos, e a unidade de produção, tendo em vista que os clientes poderiam em loja efetuar uma encomenda e esta ser recebida pelo sistema no edifício de produção.



## BIBLIOGRAFIA

Alok, J. C., W. Donnelly; Ashutosh, Upadhyay; D. S. Bunkar (2014). Safety and Quality Management in Food Processing. Introduction to Advanced Food Process Engineering, CRC Press: 377-412.

ASHRAE (2006). 2006 ASHRAE Handbook - Refrigeration (I-P Edition). Thermal Properties of foods, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: 31.

Craveiro, F. M. R. (2009). Projecto de uma Unidade de Transformação de Pescado num Navio Congelador. Departamento de Engenharia Mecânica, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA. **Licenciado em Engenharia Mecânica**

Grundfos, P. (2010, 16 de Junho de 2010). "CM-Brochura." Obtido a 25 de Julho, 2014, de <http://pt.grundfos.com/produtos/find-product/cm-cme.html#brochuras>.

INE, I. P. (2014). Estatísticas da Pesca 2013. Lisboa-Portugal.

JUMO, K. G. C. (2010). "RTD temperature probes for the food and pharmaceutical industries." Obtido a 16 de Agosto, 2014, de <http://www.jumo.de/products/industry/food-and-beverage-technology/3976/temperature.html>.

Lange, H. (2004). "3798-S sc: digital inductive conductivity sensor." Obtido a 17 de Julho, 2014, de <http://www.hach-lange.pt/view/content/facetsearch?query=3798-S&type=Document>.

Lange, H. (2010). "SC 200 Digital 2 Channel Controller." Obtido a 17 de Julho, 2014, de <http://www.hach-lange.pt/view/content/facetsearch?query=SC+200&type=Document>.

Lange, H. (2012). "Tecnologia de medição de processo para análise de Água." Obtido a 18 de Junho, 2014, de [http://www.hach-lange.pt/medias/sys\\_master/8808925003806/99034.pdf?mime=application/pdf](http://www.hach-lange.pt/medias/sys_master/8808925003806/99034.pdf?mime=application/pdf).

Lange, H. (2013). "3798-S sc Digital inductive conductivity sensor - User Manual." 2ª Edição. Obtido de 17 de Julho, 2014, a <http://www.hach-lange.pt/view/content/facetsearch?query=3798-S&type=Document>.

Meyer (2013). "Advanced Technology for Thawing of Seafood Products." Obtido a 29 de Junho, 2014, de <http://www.meyer-industries.com/pdf/thawing/Polydefrost.PDF>.

Mortimore, S. E. W., Carol; Cassianos, Christos (2008). HACCP. Chichester, GBR, Wiley.

Nawrocki, W. (2005). Measurement Systems and Sensors. Norwood, MA, USA, Artech House.

Norman, F. S., Jr. and G.-E. Anthony (2014). pH Measurement. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Second Edition, CRC Press: 1-16.

Novo, P. (2013). "Mar é vida." Obtido a 4 de Setembro, 2014, de <http://palangreiro.blogspot.pt/2013/06/arrastao-festeiro.html>.

Nunes, A. V. A. L. E. C. L. S. M. B. D. M. J. S. M. B. P. F. S. (2009). PERFIL DE RISCO DOS PRINCIPAIS ALIMENTOS CONSUMIDOS EM PORTUGAL, Autoridade de Segurança Alimentar e Económica.

Palinox (2010). "Proyectos, Automatismos y Líneas para la Industria del Pescado." Obtido a 14 de Julho, 2014, de [www.palinox.com](http://www.palinox.com).

Parker (2012). "Fluid Control Division Europe - Parker." Obtido a 4 de Junho, 2014, de <http://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.223a4a3cce02eb6315731910237ad1ca/?vgnextoid=b6e07f71ad65e210VgnVCM10000048021dacRCRD&vgnextfmt=EN>.

Radhakrishnan, S. and C. Kenneth C. Diehl (1997). MEASUREMENT OF THERMAL PROPERTIES OF SEAFOOD. Masters of Science in Biological Systems Engineering. Blacksburg, Virginia, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

Restivo, Maria Teresa; Almeida, Fernando Gomes; Mendes, Joaquim Gabriel; Chouzal, Maria Fátima; Lopes, António Mendes (2008). Laboratórios de Instrumentação para Medição. E. Feup. Porto.

SICK (2010). "The LFV300 universal limit switch for liquids – rugged and reliable measurement of liquids using the tuning fork principle." Obtido a 29 de Setembro, 2014, de [http://www.sick.com/instruments/EN/home/products/level\\_sensors/Pages/LFV310.aspx](http://www.sick.com/instruments/EN/home/products/level_sensors/Pages/LFV310.aspx).

Sousa, L. (2011). "A Zona Económica Exclusiva – 200 milhas náuticas de recursos." Obtido a 17 Setembro, 2014, de <http://www.portosdeportugal.pt/sartigo/index.php?x=7097>.

Systems, I. (Sem data). "Thawing & Soaking - Innotec Systems." Obtido a 26 de Julho, 2014, de <http://www.innotec-systems.net/thawing--soaking.html>.

Werma (Sem data). "693 LED-signal Tower Kompakt 36." Obtido a 25 Junho, 2014, de <http://pt.rs-online.com/web/>.

Wilson, J. S. (2004). Sensor Technology Handbook. Saint Louis, MO, USA, Elsevier Science & Technology.